ARC
0868

257.1

Library of the Museum

OF

COMPARATIVE ZOÖLOGY,

AT HARVARD COLLEGE, CAMBRIDGE, MASS.

Founded by private subscription, in 1861.

Deposited by ALEX. AGASSIZ.

No. 7383
Dec. 5, 1889

ARCHIV

FÜR

ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE.

Fortsetzung des von REIL, REIL u. AUTENRIETH, J. F. MECKEL, JOH. MÜLLER REICHERT u. DU BOIS-REYMOND herausgegebenen Archives.

HERAUSGEGEBEN

VON

Dr. WILH. HIS und Dr. WILH. BRAUNE,

PROFESSOREN DER ANATOMIE AN DER UNIVERSITÄT LEIPZIG,

UND

Dr. EMIL DU BOIS-REYMOND,

PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT BERLIN.

JAHRGANG 1889.

SUPPLEMENT-BAND

ZUR

PHYSIOLOGISCHEN ABTHEILUNG.

9633
57-27

LEIPZIG,

VERLAG VON VEIT & COMP.

1889.

ARCHIV

FÜR

PHYSIOLOGIE.

PHYSIOLOGISCHE ABTHEILUNG DES

ARCHIVES FÜR ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE.

UNTER MITWIRKUNG MEHRERER GELEHRTEN

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. EMIL DU BOIS-REYMOND,
PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT BERLIN.

JAHRGANG 1889.

SUPPLEMENT-BAND.

MIT ABBILDUNGEN IM TEXT UND ZEHN TAFELN.

LEIPZIG,
VERLAG VON VEIT & COMP.
1889.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig

Inhalt.

Seite

Theodor Kodis, Epithel und Wanderzelle in der Haut des Froschlarvenschwanzes. Zur Physiologie des Epithels. (Hierzu Taf. I—IV.) 1

G. v. Liebig, Beobachtungen über das Athmen unter dem erhöhten Luftdruck . 41

F. C. Müller-Lyer, Psychophysische Untersuchungen 91

Alfred Goldscheider, Untersuchungen über den Muskelsinn 141

O. Langendorff, Beiträge zur Kenntniss der Schilddrüse (Hierzu Taf. V.) . . 219

W. Bechterew und N. Mislawski, Ueber centrale und periphere Darminnervation. (Hierzu Taf. VI—VIII.) 243

F. C. Müller-Lyer, Optische Urtheilstäuschungen. (Hierzu Taf. IX.) 263

Wolcott Gibbs und H. A. Hare, Systematische Untersuchung der Wirkung constitutionell verwandter chemischer Verbindungen auf den thierischen Organismus. (Hierzu Taf. X.) 271

Warren Plympton Lombard, Die Variationen des normalen Kniestosses (Kniephaenomens) und deren Verhältniss zur Thätigkeit des Central-Nervensystems. 292

Epithel und Wanderzelle in der Haut des Froschlarvenschwanzes.

Zur Physiologie des Epithels.

Von

Theodor Kodis.

(Aus dem physiologischen Institut in Zürich.)

(Hierzu Taf. I—IV.)

Einleitung.

Diese Arbeit ist in dem Wunsche begonnen worden, einen Fortschritt in den von Frenkel in dem Aufsatz: „Nerv und Epithel des Froschlarvenschwanzes“[1] gewonnenen Resultaten zu erzielen. Es stellte sich bald heraus, dass, wenn man die dort ausgesprochenen allgemeinen Anschauungen einer thatsächlichen Prüfung unterziehen wolle, eine Arbeitstheilung stattfinden müsse, weil schon die Feststellung einiger thatsächlicher Punkte meine Arbeitskraft völlig in Anspruch nahm. Ich beschloss daher auf Rath des Hrn. Professor Gaule die eine Seite des Problems, nämlich die Bildung der Nerven, ganz bei Seite zu lassen, und meine Bemühungen auf die Untersuchung des Hervorgehens der verschiedenen Schichten des Epithels aus einander zu concentriren. Die gemeinschaftliche Abstammung der Zellen aller dieser Schichten von einer einzigen und zwar von der untersten Schicht ist niemals bezweifelt worden, aber da die Zellen der verschiedenen Schichten einander unähnlich sind in Aussehen und Eigenschaften, so bietet ihre Abstammung von einander ein Problem dar, wie man es seither in den thierischen Geweben noch nicht studirt hat, nämlich die Entstehung ver-

[1] *Dies Archiv.* 1886. S. 415.

schiedener Zellen von einer Mutterzelle. Die beiden genau bekannten Formen der Zellbildung durch directe und indirecte Kerntheilung führen ja immer zur Bildung von Zellen der gleichen Art wie die Mutterzelle. Manche haben freilich geglaubt, sie könnten die Entstehung der Verschiedenheit der Zellschichten aus rein physikalischen Verhältnissen des Druckes erklären.[1] Ich will hier die Berechtigung der zu Grunde liegenden physikalischen Anschauung gar nicht discutiren, man kann aber der Ansicht, dass auf diese Weise das Problem zu lösen sei, nur so lange sein, als man das Schichtenepithel gar nicht kennt. Ein einziger Blick auf ein wohlgelungenes Praeparat desselben muss einen ja überzeugen, dass die Zellen der verschiedenen Schichten sich unterscheiden durch eine Fülle von inneren Details, die auf eine ganz andere Structur hinweisen und die nimmermehr durch ein einfaches Abpressen von aussen her erzeugt werden können. Frenkel hat in den Bildern 3, 6, die er gegeben hat, den Modus angezeigt, wie Zellen aus den unteren Schichten in die oberen übergehen und dabei sich umformen können. Ueber die Zellbildung hat er nichts ausgesagt.

Da in dem Epithel des Larvenschwanzes Kerntheilungen und Plasmosoma vorkommen, wie aus Frenkel's und aus anderer Beobachter Abbildungen hervorgeht, so erschien es zunächst angezeigt, die Beziehungen dieser Vorgänge zu der Zellbildung festzustellen. Aber Frenkel hatte auch schon in seinen Abb. 22, 23, 25 das Vorhandensein von anderen in dem Epithel vorkommenden Zellenarten dargethan, über deren Beziehung zur Epithelbildung gleichfalls Auskunft erwünscht war.

Es erschien mir nun nothwendig, bei der Beurtheilung der vorkommenden Bilder mich von keiner vorgefassten Theorie leiten zu lassen, sondern die Dinge aus sich selbst zu erklären und möglichst alle mir aufstossenden Zellenarten zu berücksichtigen. Die Untersuchung führte mich in Bezug auf mehrere der letzteren zu dem Resultate, dass sie in dem Epithel entstehen und von den Epithelzellen selbst abstammen, während man seither geglaubt hatte, dass sie von den Gewebeschichten unterhalb des Epithels in dasselbe hineingewandert seien. So zunächst für die in meiner Abb. Taf. VII—XIV gegebenen Zellen. Dieselben waren von den Autoren, welche sie gesehen hatten, als Wanderzellen aus dem Bindegewebe beschrieben worden, ich überzeugte mich jedoch, dass sie endogen in Epithelzellen entstehen. Eine sorgfältige Vergleichung meiner Praeparate, von denen ich die wichtigsten abgebildet habe, zeigt, dass auch von einem parasitischen Einschliessen in die Epithelzelle nicht die Rede sein kann, sondern dass man von jeden einzelnen Theil nachweisen kann, wie und aus welchen Theilen der ursprünglichen Epithelzellen er sich bildet.

[1] Lewinski, Zur Physiologie des Rete Malpighi. *Dies Archiv.* 1883.

Auch in Bezug auf die Pigmentzellen muss ich den herrschenden Anschauungen widersprechen. Danach nämlich müssten die Pigmentzellen vom Bindegewebe her in das Epithel einwandern; ich komme zu dem entgegengesetzten Schluss, dass sie im Epithel entstehen und in das Bindegewebe übergehen.

Die Befunde, auf welche ich mich stütze, und die in dem betreffenden Abschnitt dieser Arbeit nachzulesen sind, beruhen im Wesentlichen auf dem Vergleich der verschiedenen Altersstufen der Larve, von dem sehr pigmentreichen Epithel der ganz jungen bis zu dem pigmentarmen der alten Larve. Um indess in dieser Sache völlig sicher zu sein, musste ich mich nach weiteren Beweisen umsehen.

Erstens habe ich das Experiment zu Hülfe genommen, weil dieses allein einen wirklichen Zusammenhang der einzelnen Bilder erweisen kann, also die Möglichkeit einer vielleicht nur künstlichen Combination ausschliesst. Zweitens habe ich Zählungen vorgenommen. Die Versuche, diese endogene Zellbildung durch Vergiftung mit Pilocarpin oder anderen Giften oder durch Variation der Ernährung anzuregen, wie sie sich bei Ogata und Stolnikow bewährt hatten, schlugen fehl, dagegen gelang es mir, dieselbe durch elektrische Wechselströme in einer Massenhaftigkeit und Deutlichkeit hervorzurufen, die keinen Zweifel übrig liess. Die Beschreibung, die ich weiterhin von den mit dieser Methode erhaltenen Resultaten geben werde, stellt also die Thatsache fest, dass gewisse in den Figg. 16—40 abgebildete Zellen in den Epithelzellen aus Bestandtheilen derselben entstehen, also gewiss epithelialer Abstammung sind, und dann diese Zellen weiter zu Epithelzellen sich ausbilden. Die Entstehung dieser Zellen scheint innig verknüpft mit der einer zweiten Zellgattung, die man gleichfalls häufig im Epithel trifft und die man bisher ebenfalls allgemein als Wanderzellen angesehen hat. Meine Praeparate zeigen nämlich, dass der Rest der Epithelzelle, welche in sich eine solche endogene Zelle entwickelt, sich gleichfalls umwandelt in eine Zelle, die ich als perigene bezeichnen will, und die häufig den Ort, an dem sie sich bildet, verlässt, also mit der Fähigkeit der Ortsbewegung begabt ist, und dabei auch das Aussehen der Wanderzellen annimmt.

Ich will aber nicht behaupten, dass alle die im Epithelgewebe vorkommenden Wanderzellen diesen Ursprung haben; ich halte aber daran fest, dass es für eine Anzahl derselben sicher constatirt ist. Durch die Zählung fand ich, dass die innere Schicht 2- bis 3mal so viel Zellen enthält, als die äusserste, dass die mittlere Schicht auch der Anzahl der Zellen nach zwischen den beiden anderen Schichten in der Mitte steht. Es muss also in der Zeit, in welcher die innerste Schicht zur mittleren wird, ein Theil der ursprünglich in ihr enthaltenen Epithelzellen

verschwinden. Nach aussen können sie nicht verschwinden, sie können also nur nach innen wandern. Diese verschwindenden Epithelzellen treten die Wanderung nach innen an, nachdem sie auch der Form nach in die Leukocyten (perigene und Pigment-Zellen) sich umgewandelt haben.

Nachdem auf diese Weise festgestellt worden war, dass auch durch die Abstossung der oberen Schichten das Epithel noch einen zweiten Verlust erleidet, nämlich nach unten durch die Auswanderung der Pigmentzellen, der perigenen und vielleicht auch eines Theils der endogenen Zellen, erschien es nothwendig zu erfahren, welches denn die Quelle der Zellvermehrung in allen drei Schichten sei, durch die für diesen Abfluss Ersatz geleistet werde. Ich fand es nothwendig, um mir hierüber Auskunft zu verschaffen, genaue Zählungen vorzunehmen jeder vorkommenden Art der Zellen, ferner die Zahl der Kerntheilungen der endogenen und perigenen Zellen festzustellen.

Diese Zahlen allein gewähren noch keinen Einblick in den physiologischen Process der Zellerneuerung, will man nicht auch etwas über die Zeiten wissen, die die einzelnen Vorgänge in Anspruch nehmen. Nun kennen wir eine derselben aus vielfältiger sicherer Erfahrung, wir wissen nämlich, dass die obere Schicht des Epithels einmal im Monat (oder etwas darüber) abgestossen wird, damit ist die Periode der Erneuerung einer Schicht festgestellt und es müssten demnach in dem Epithel ebenso viel Zellen gebildet werden, als der Schwanz durch Abstossung der oberen Schicht verliert.

Diese Bildung durch Epithelzellen kann nur geschehen durch die beiden beobachteten Vorgänge: erstens die Zelltheilung und zweitens durch den Zerfall in endogene und perigene Zellen. Indem wir uns zunächst ein Bild machen von dem Schicksal, welches die Abkömmlinge der Zellen im Verlauf der Zeit erleiden, von ihrem Entstehen bis zu ihrer Abstossung in der obersten Schicht, erlangen wir ein Bild von der Zusammensetzung aus verschiedenen Zellenarten, welche das Epithel haben muss, um der Bedingung der Abstossung seiner obersten Schicht und der Erneuerung durch die angegebenen beiden Vorgänge zu genügen. Diese theoretische, aus meinen Praemissen gefundene Zusammensetzung habe ich dann verglichen mit den wirklichen Zahlenverhältnissen der verschiedenen Zellarten, die sich aus meinen Schnitten ergeben, und die Uebereinstimmung, die sich fand, ist der Beweis, dass meine Praemissen richtig waren.

Mit dieser Arbeit bin ich über ein Jahr beschäftigt gewesen, ich habe also die Gelegenheit gehabt, die Larve von verschiedenen Jahreszeiten zu untersuchen. Ein gewisser Unterschied im Verhalten des Epithels je nach der Jahreszeit war dabei meistens nachzuweisen. Die Hauptformen aber

der verschiedenen Gebilde sind zu jeder Jahreszeit im Epithel vorhanden, obwohl mit verschiedener Häufigkeit.

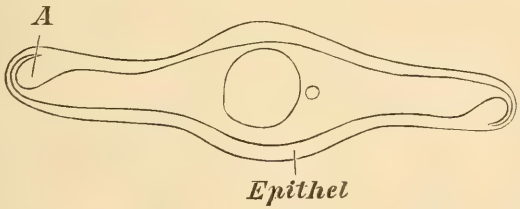
In der Untersuchung habe ich dieselben Methoden angewandt, die Ogata, Frenkel, Stolnikow u. A. beschrieben haben. Sublimathärtung, Paraffineinbettung und vierfache Färbung mit Haematoxylin, Nigrosin, Eosin und Safranin.

Alle Zeichnungen (ausser den Figuren 63 und 64) habe ich selbst mit grösster Genauigkeit gemacht. Ich habe nichts schematisch gezeichnet.

Hrn. Professor Gaule bin ich für freundliche Unterstützung bei dieser Arbeit zum tiefsten Danke verpflichtet.

Epithelzellen.

1. Bei den ausgewachsenen Froschlarven bedeckt das Epithel den ganzen Schwanz im Allgemeinen in drei Schichten. Vorn am Rande des Schwanzes, d. h. oben am Rücken und unten an der Bauchseite sind eine oder zwei Schichten mit dem Charakter der äussersten, der dritten Schicht. Unmittelbar vor diesen Stellen findet sich gewöhnlich eine Verdickung des Epithels mit dem Charakter der ersten (innersten) und zweiten (mittleren) Schicht. So bildet hier das Epithel einen wallartigen Vorsprung nach dem Bindegewebe zu, welcher längs des ganzen Schwanzes am Rücken an der einen, am Bauche an der anderen Seite hinläuft (A. Fig. 1).

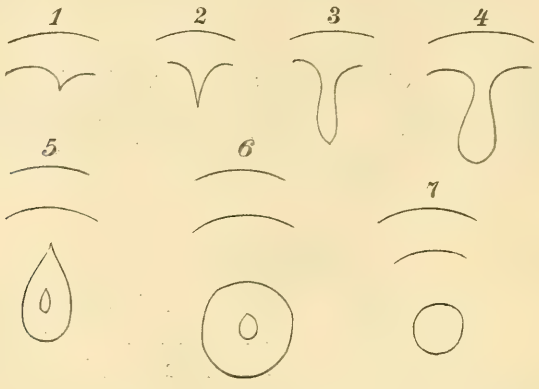


2. Ausserdem kommen nicht selten manche Missbildungen in der Anordnung des Epithels vor. So z. B. habe ich in einem meiner Praeparate folgende Verhältnisse gefunden:

Es löst sich ein Streifen von den Zellen der ersten Schicht ab, begiebt sich nach dem Bindegewebe, geht in die Tiefe bis in die Mitte des Schwanzes, verdickt sich allmählich und wird zu einer blinden Röhre mit zwei oder drei Schichten von Zellen. An den Querschnitten haben wir das Bild auf folgender Seite.

3. Die Grenze zwischen den Schichten ist am Querschnitte zackig, so dass die Zellen mehrfach in einander greifen, besonders ist es schwer, die Zellen der ersten Schicht von denjenigen der zweiten zu trennen. Die

Grenze zwischen der zweiten und dritten Schicht ist viel deutlicher, sie ist mehr wellenförmig als zackig, was an der ersten Schicht nur an einzelnen Zellen vorkommt. Die Zellen der ersten Schicht enden also mit einer



Pyramide in der Form einer Schaufel, die manchmal aus 3—4 Zellen besteht. Die Epithelzellen der ersten Schicht haben meistens die Form eines drei-, vier-, fünf- oder seltener sechsseitigen Prisma's. Es kommt jedoch sehr oft die Form einer Pyramide mit der Basis nach oben oder nach unten vor. Die Pyramide ist nicht selten abgestumpft.

5. Das Protoplasma dieser Zellen färbt sich mit Nigrosin und sehr schwach mit Eosin, und zwar an dem der zweiten Schicht zugekehrten Ende stärker als an den seitlichen Partien und an dem der Membran zugekehrten Ende. Unmittelbar um den Kern herum ist oft eine hellere Zone zu sehen. Auch die von Frenkel und zuerst von Hensen beschriebenen Figuren sind meistens als etwas dunklere Streifen sichtbar. Das Protoplasma erscheint manchmal deutlich als ein Maschenwerk von Fäden mit der Richtung nach unten. Manche Zellen machten auf mich den Eindruck, als ob das Protoplasma an der Basis der Zelle sich durch eine etwas grössere Färbbarkeit mit Eosin und deutlichere maschenförmige Bildung von den übrigen unterscheide. Ich habe dies jedoch nur bei wenigen gefunden.

6. Die Kerne haben meistens eine ovale Form, seltener eine runde. Ihre Längsaxe fällt gewöhnlich mit der Längsaxe der Zelle zusammen, obwohl sie nicht immer in der Mitte liegen, sondern an einem oder dem anderen Ende, wobei die runden Kerne an dem basalen Ende liegen.

Die regelmässigen Sphaeroide kommen selten vor, meistens sind es zackige, mit mehr oder weniger tiefen Einschnitten und Lappen versehene

Formen. Die Kernmembran ist öfters gekerbt, gefaltet, manchmal mit etwas ausgetretenem Inhalte (Fig. 2 Taf. II).

Es färbt sich der Kern mit einem Gemisch von Safranin und Haematoxylin, wobei das zweite überwiegt. Das Safranin färbt gleichmässig die ganze Chromatinsubstanz des Kernes, das Haematoxylin ebenfalls alles ausser dem Plasmasoma (Kernkörperchen), welches also mehr mit dem Safranin als mit dem Haematoxylin gefärbt bleibt und dadurch leicht zu erkennen ist. Ausserdem kommen in allen Schichten nicht selten solche Zellen vor, die nur mit Eosin und Safranin sich färben; das sind die eosinophilen Epithelzellen. Die regelmässig ovalen und runden Kerne sind meistens feinkörnig, mit wenig oder keinen Karyosomen versehen (Fig. 1 Taf. I, Fig. 42 A Taf. III). Das Plasmasoma liegt meistens im mittleren Theile des Kernes, nicht selten aber auch an dem Rande oder ganz ausserhalb des Kernes in dem Protoplasma. Nicht selten sind zwei Plasmasomen in einem Kern.

Mitosen kommen in dieser Schicht ungefähr eine auf 90 Zellen. Die Theilungsebene ist immer senkrecht zu der Basalmembran. Eine Theilungsebene, die parallel mit der Oberfläche läuft, habe ich bloss bei den embryonalen Epithelzellen gesehen, und auch hier ausserordentlich selten, sonst nie.

7. Die Epithelzellen in der zweiten Schicht haben meistens eine kubische Form. Die Kerne sind rundlich, eingekerbt gefaltet, etwas kleiner als in der ersten Schicht, schärfer conturirt, etwas stärker mit Haematoxylin färbbar. Sonst unterscheiden sie sich wenig von denen der ersten Schicht. Die Plasmosomen befinden sich ebenso oft ausserhalb des Kernes, wie in der ersten Schicht. Die Mitosen kommen im Verhältniss zu der Zellenzahl etwas seltener, als in der ersten Schicht vor. Die Theilungsebene ist ebenfalls senkrecht zu der Schichtebene.

8. Für die dritte Schicht sind charakteristisch platte und kubische Zellen mit grossen, hellen, runden Kernen. Ausserdem kommen in der dritten Schicht Zellen vor, die den Zellen der zweiten Schicht sehr ähnlich sind.

Das Protoplasma der ersten ist dunkler als bei den Zellen der beiden anderen Schichten und färbt sich etwas stärker mit Eosin. Die Kerne sind meistens rund, klein, flach, discusförmig; sie färben sich so stark mit Haematoxylin, dass die Kernstructur im Querschnitt schwer zu unterscheiden ist. Das Protoplasma der cubischen Zellen der äussersten Schicht ist sehr gering, ziemlich blass, deutlich aus einem Fadennetz bestehend. Ihre Kerne sind sehr gross. Es sind dies überhaupt die grössten Kerne im Epithel. Sie sind hell, mit spärlichen aber sich stark färbenden Fäden der Chro-

matinsubstanz mit einem, zwei oder drei Plasmosomen, die gewöhnlich von den Karyosomen umgeben sind. Die Plasmosomen liegen wie in den anderen Zellen in verschiedenen Theilen des Kernes.

Die dritte Zellenart ist den Zellen der zweiten Schicht sehr ähnlich. Dieselbe Grösse, Form, Farbe. Nur ein etwas grösseres Plasmosoma, kleinkörnige Kernstructur, geringere Färbbarkeit durch Haematoxylin und etwas grössere durch Nigrosin, sind vielleicht alles, was sie mikroskopisch von den Zellen der zweiten Schicht unterscheidet.

In dieser Schicht trifft man nicht selten zwei Kerne in einer Epithelzelle, das sind gewöhnlich die Zellen mit den grossen, hellen Kernen. Beide Kerne sind selten ähnlich, meistens sehen sie verschieden aus. Nach aussen begrenzt sich die dritte Schicht durch ein dünnes homogenes, stark lichtbrechendes Häutchen (Cuticula, Eberth). Das kommt besonders oft bei den jüngeren Larven vor.

9. Jede Schicht hat also für sich charakteristische Zellen, die durch ihre Form leicht, viel schwerer dagegen durch ihre Structur zu unterscheiden sind. Nur die grossen, hellen Kerne der dritten Schicht sind leicht zu erkennen. Das Vorkommen der Zellen der inneren Schichten in den äusseren ist sehr oft zu beobachten. Die ovale Form der Kerne der ersten Schicht tritt ziemlich oft in der zweiten Schicht auf. Dabei behält die Axe noch dieselbe Richtung oder senkt sich allmählich zur horizontalen. Die Zellen der dritten Schicht, wie oben gesagt, sind sehr oft schwer zu unterscheiden von der zweiten Schicht. Es kommen auch umgekehrte Fälle vor, wo die Zellen der äusseren Schicht sich in der inneren Schicht finden. Diese Art des Vorkommens ist schwer zu controliren in der ersten Schicht, aber leicht in der zweiten. Hier kommen ebenso die flachen, wie die grossen runden Kerne vor, die für die dritte Schicht charakteristisch sind. Die letzteren trifft man leicht da, wo sich eine Anhäufung von Zellen findet, z. B. am Rande des Schwanzes.

10. Die Epithelzellen sind mit einer Kittsubstanz unter einander verbunden, die sich mit keinem von den vier Farbstoffen färbt. An den gehärteten Praeparaten zeigt sie sich durch Querfäden in fast regelmässige Abschnitte getheilt.

11. Es sind mir folgende Arbeiten über das Epithel am Froschlarvenschwanze bekannt:

Leydig, *Histologie.* 1857.

Leydig, Ueber die allgemeinen Bedeckungen der Amphibien. *Archiv für mikroskopische Anatomie.* Bd. XII.

Eberth, Zur Untersuchung der Gewebe im Schwanze der Froschlarven. *Archiv für mikroskopische Anatomie.* Bd. II.

L. Stieda, Ueber den Bau der Haut des Frosches. *Dies Archiv.* 1865.

Hensen, Ueber die Nerven im Schwanze der Froschlarven. *Archiv für mikroskopische Anatomie.* Bd. IV.

Hensen, Ueber die Entwickelung des Gewebes und der Nerven im Schwanze der Froschlarven. Virchow's *Archiv.* Bd. XXXI.

F. Schulze, Ueber Cuticularbildungen und Verhornung von Epithelzellen. *Archiv für mikroskopische Anatomie.* Bd. V.

Kölliker, Stiftzellen in der Epidermis von Froschlarven. *Zoologischer Anzeiger.* 1885.

W. Pfitzner, Die Epidermis der Amphibien. *Morphologische Jahrbücher.* 1880.

W. Pfitzner, Nervenendigungen im Epithel. *Morphologische Jahrbücher.* 1882.

Canini, Die Endigungen der Nerven in der Haut des Froschlarvenschwanzes. *Dies Archiv.* 1883.

S. Frenkel, Nerv und Epithel am Froschlarvenschwanze. *Dies Archiv.* 1886.

Barfurth, Die Rückbildung des Froschlarvenschwanzes und die sogenannten Sarcoplasten. *Archiv für mikroskopische Anatomie.* Bd. XXIX.

Leukocytoide und Wanderzellen.

12. Die oben beschriebenen Zellen sind die weitaus vorherrschenden in allen drei Schichten. Es finden sich im Epithel jedoch ausserdem noch Zellen mit ganz anderem Charakter. Dieselben sind jenen im Blute und Bindegewebe wandernden Körperchen, den Wanderzellen, ähnlich und wurden bis jetzt auch als solche beschrieben (z. B. von List). Diese Aehnlichkeit ist in den exquisitesten Fällen wirklich so gross, dass wir ihrer Form nach die Identität mit den Wanderzellen zugeben müssen. In anderen Fällen jedoch ist die Aehnlichkeit nicht so gross, oft nähern sie sich mehr den Epithelzellen als den Wanderzellen. Ich will die letzteren deswegen als leukocytoide Zellen bezeichnen.

Fig. 1 *W* Taf. I. stellt eine Wanderzelle dar. Sie ist stark mit einem Gemisch von Haematoxylin, Nigrosin und Safranin gefärbt, wobei das Haematoxylin stark überwiegt. Sie ist in Folge dessen viel dunkler als die umgebenden Epithelzellen. Der Kern ist länglich, unregelmässig mit zwei Fortsätzen versehen (an dem Bilde ist einer abgeschnitten). Das Plasmosoma fehlt, aber die Karysomen sind gross, kantig in der Längenrichtung ausgezogen. Das Protoplasma fehlt wie es scheint gänzlich. Der Kern liegt intercellulär, manchmal ist er über zwei Schichten ausgezogen, offenbar ist es keine sesshafte Zelle.

Figg. 12, 13 Taf. I zeigt eine andere Wanderzelle mit mehreren kleinen Kernen (sie scheinen noch zusammen zu hängen, oft trifft man aber die Kerne weit von einander entfernt). Diese Zelle hat etwas Protoplasma. Die Kerne sind etwas heller als bei der vorher geschilderten Zelle, scharf conturirt mit einem runden Karyosoma in der Mitte.

13. Die zwei eben beschriebenen Formen enthalten sehr wenig, oft vielleicht gar kein Protoplasma, bei einigen wenigstens habe ich vergeblich danach gesucht. Die leukocytoiden Zellen enthalten umgekehrt sehr viel Protoplasma (Taf. I Fig. 14, Taf. II Fig. 29).

Beide Arten von Zellen — diejenigen mit und diejenigen ohne Protoplasma — sind auch in anderer Beziehung sehr von einander verschieden. Die Kerne der leukocytoiden Zellen sind blässer, weniger mit Haematoxylin und Safranin gefärbt, sie sind etwas bläulich, mit wenig Karyosomen erfüllt und diese letzteren sind rundlich. Die Kerne sind meistens klein, selten rund, oft flach am Rande der Zelle liegend, mit eigenthümlichen Höhlen, in welchen das ganze Protoplasma, oder eigenthümliche Protoplasmakugeln sich lagern. Solche Höhlen sind manchmal an zwei oder drei Stellen vorhanden, so dass der Kern aussieht, als ob er durch zwei oder drei Kugeln zusammengepresst wäre (Fig. 11 Taf. I). Bei manchen Zellen besteht der Kern nur aus einer Platte der doppelt zusammengelegten Kernmembran. Die Platte dreht sich um sich selbst, beide Hälften trennen sich und die Zelle gewinnt so Aehnlichkeit mit den mehrkörnigen Wanderzellen.

14. Das Protoplasma einer Reihe dieser Zellen ist homogen, farblos, glasig, oft mit Pigmentkörnern erfüllt, manchmal etwas röthlich — dabei feinkörnig. Der Kern liegt wie bei den anderen Zellen peripher, ist aber gewöhnlich etwas grösser und nicht so platt, als bei den anderen. Das Protoplasma dieser Zellen schickt nicht selten lange Fortsätze zwischen die anderen Zellen aus, mit oder auch ohne Pigment (Fig. 29 Taf. II).

15. Bei den anderen leukocytoiden Zellen ist das Protoplasma gewöhnlich noch reichlicher, nicht homogen, sondern mit stärker und schwächer lichtbrechenden Stellen, mit eigenthümlichen Streifen und Zügen durchsetzt. Es färbt sich etwas mit Nigrosin, aber immer schwächer als in den wahren Epithelzellen. Dieses Protoplasma enthält auch verschiedene paraplasmatische Einschlüsse.

16. Ehe ich zur Beschreibung dieser Einschlüsse übergehe, will ich über die Lage der leukocytoiden Zellen zu den Epithelzellen berichten:

Die protoplasmareichen leukocytoiden Zellen sind nur ausnahmsweise in der dritten Schicht zu treffen; gewöhnlich liegen sie in der ersten und zweiten Schicht. Manchmal sind sie den wahren Epithelzellen ausserordentlich ähnlich, so dass sich mikroskopisch kaum eine Grenze feststellen lässt. Fig. 14 Taf. I und Fig. 15 Taf. II stellen eine solche Zelle dar. Sie hat ein Plasmosoma, was die Wanderzellen so gut wie nie haben. Der Kern ist gross, ganz ähnlich den Epithelkernen; nur die beginnende Aushöhlung unterscheidet ihn von diesen.

Das einzige Merkmal, das meiner Ansicht nach jene Zellen einigermaassen sicher von den Epithelzellen unterscheidet, ist das Fehlen der Querfäden in der Kittsubstanz. Jede Zelle im Epithel ohne Kitt ist eine leukocytoide Zelle, obwohl das Umgekehrte nicht immer gilt. Später werden wir noch ein Kennzeichen für die leukocytoiden Zellen finden, nämlich: gewisse Einschlüsse.

17. Die protoplasmareichen leukocytoiden Zellen liegen in den Höhlen, welche an lebenden Praeparaten mit einer hellen, stark lichtbrechenden Flüssigkeit gefüllt erscheinen. An den gehärteten Praeparaten erscheinen die Höhlen leer.

18. Die Wanderzellen mit den länglichen Kernen (Fig. 1 *W* Taf. I) trifft man in allen Schichten, wobei die in der ersten gewöhnlich grösser sind und oft mit zugespitzten Kernfortsätzen in die zweite Schicht hineinragen. Der Kern ist manchmal so gross wie der einer Epithelzelle. An der Basis der Cylinderzellen verlieren sie manchmal die Form des activen Zustandes und werden zu bläschenförmigen Kernen mit einer feinkörnigen Membran und einem Plasmosoma. Diejenigen von ihnen, die sich parallel zur Membrana basilaris lagern, sind von der Epithelzelle leicht zu unterscheiden. In diesem Zustande haben sie auch kein Protoplasma.

In der ersten und zweiten Schicht liegen die Wanderzellen intercellulär. In der dritten Schicht trifft man sie meistens in der Epithelzelle mit grossem hellem Kern (Figg. 7, 8, 9 und 10 Taf. I). Ein solches Verhalten in den ersten und zweiten Schichten habe ich nur ausnahmsweise gefunden; dabei bin ich nicht sicher, ob wirklich beide Kerne in einer Zelle waren oder ob nicht „unvollständige Kerntheilung" Flemming's hier vorläge. Die kleinen runden Wanderzellen (Fig. 12 Taf. I) befinden sich fast ausschliesslich in der ersten Schicht, an der Basalmembran.

19. Die oben erwähnten Protoplasmaeinschlüsse bestehen aus: 1. Plasmosomen, 2. grauen, 3. farblosen, 4. rothen, 5. violetten Protoplasmakugeln, 6. deutlichen Kernen und Zellen, 7. Pigment. Die 1. und 2. liegen nur im Epithel, 7. im Epithel und in den leukocytoiden Zellen; 3., 4., 5., 6. in den leukocytoiden Zellen.

20. Figg. 3, 4, 5, und 6 Taf. I zeigt eigenthümliche Kugeln im Protoplasma der cubischen Zellen der dritten Schicht. Man trifft sie nur hier. Die Kugeln sind bläulich-grau mit Nigrosin gefärbt. Ihre Grösse ist wechselnd: von einem Plasmosoma bis zu einem Kern. Sie liegen, vom Protoplasma umgeben, meistens nach aussen vom Kerne. Zwischen der Kugel und dem Protoplasma sieht man gewöhnlich eine helle Zone. Im Inneren enthalten sie manchmal hellere Stellen (Figg. 3, 4 Taf. I); sonst

sind sie homogen, haben keine Membran, in den grössten entstehen allmählich punktförmige Körner und ein Plasmosoma (Fig. 5, 6 Taf. I).

Manche von ihnen sind röthlich, dabei feinkörnig und mit winzigen Pigmentkörnern und auch von verschiedener Grösse wie die anderen.

Der Kern ist nicht selten an der Stelle wo die Kugel liegt, eingesunken (Fig. 3 Taf. I).

Die Wanderzelle liegt nie in einer Zelle mit einer grauen Kugel zusammen.

21. Die rothen Einschlüsse sind von zweifacher Art: rothe Körner von verschiedener Grösse und runde Körper auch von verschiedener Grösse (Fig. 16 Taf. II), jedoch alle kleiner als ein Epithelkern. Die Farbe durchläuft alle Zwischenstufen von intensivem bis zu ganz schwachem, kaum merklichem Roth (Figg. 17 und 31 Taf. II). Sie rührt ausschliesslich vom Safranin her. Es sind stark lichtbrechende Substanzen von regelmässig runder Form, manchmal stark, zuweilen schwach conturirt. Sie liegen selten frei im Protoplasma, meistens in Begleitung von violetten Substanzen. Die Figg. 17, 18, 19 Taf. II stellen oft vorkommende Formen dar: wir haben im Zellenleibe Protoplasmakugeln von verschiedener Zahl und verschiedener Grösse bis zur Epithelkerngrösse. Diese Kugeln enthalten meistens rothe, violette und farblose (ganz schwach röthliche) Substanzen, die so gelagert sind, dass auf einer Seite der farblosen Kugeln die Partikelchen von violetter Substanz im Zusammenhang oder frei peripher liegen. In der Mitte oder auf dem anderen Pol liegt die rothe Kugel.

Es sind auch nicht selten Formen, wie sie die Figuren 21, 23 und 27 Taf. XII darstellen: die rothe Kugel ist mit der violetten Substanz wie mit einer Schale umgeben. Die Quantitäten der rothen und violetten Substanz stehen mehr oder weniger im umgekehrten Verhältniss zu einander (in derselben Kugel): mit Vergrösserung der einen vermindert sich die andere. Die violette Substanz vermehrt sich, von kleinsten Partikelchen ausgehend, fortwährend, bis das ganze Protoplasmastück, in dem sie liegt, zu einer violetten Masse wird, die grösser als ein normaler Epithelkern sein kann. Sie ordnet sich dabei manchmal so, wie die Chromatinsubstanz bei der Theilung. Das Vorhandensein von Resten der rothen Kugeln unterscheidet sie oft von den Theilungsfiguren, mit denen sie sehr leicht verwechselt werden kann. Dann ordnet sich die violette Substanz kettenartig und stellt offenbar einen Kern dar.

Dieser Kern hat keine oder sehr wenig Protoplasmen um sich. Er ist rund, ziemlich gross und hat keine Plasmosomen. Seine Farbe ist der der Kerntheilungsfiguren ähnlich, die Kernfäden sind dick. Im Ganzen ist er den Leukocyten sehr ähnlich, man kann jedoch ihn von diesen leicht unterscheiden.

Wenn wir vom Einfacheren zum Zusammengesetzten übergehen, haben wir folgende Reihe zu betrachten:

1. leukocytoide Zelle mit reichlichem Protoplasma,
2. mit ganz kleinen oder grösseren farblosen Kugeln, Taf. II Fig. 16,
3. mit schwach und dann mit intensiv rothen Kugeln, Fig. 17,
4. mit rother und violetter Substanz in der Kugel, Figg. 17—22,
5. mit reichlich violetter Substanz, Figg. 23 und 24,
6. mit einem Kern der Epithel- oder Wanderzelle, Figg. 25, 26 Taf. II.

Damit ist selbstverständlich noch nicht gesagt, ob der diesen Formen zu Grunde liegende Process in der Wirklichkeit gerade so verläuft oder umgekehrt, und dass er überhaupt existirt.

22. Eine solche Nebeneinanderlage der beschriebenen Gebilde ist die am öftesten vorkommende. Es finden sich aber verschiedene Abweichungen davon, z. B. rothe und violette Kugeln liegen einzeln oder zusammen in einer Zelle, die durch Reste von Kittsubstanz mit den sie umgebenden Epithelzellen verbunden sind (Fig. 28 Taf. II): oder die rothe Substanz liegt neben dem deutlichen violetten Kern in der Theilungsform (Fig. 23 Taf. II). Die violetten Kugeln kommen nicht selten isolirt, ohne leukocytoide Zelle vor. Solche Abweichungen gehen jedoch nicht so weit, dass z. B. eine mit Kittsubstanz verbundene Zelle eine andere Zelle enthielte (das habe ich nie in der ersten und zweiten Schicht gesehen), oder dass eine rothe Kugel frei, intercellulär, ohne leukocytoide Zelle wäre, oder ein deutlicher Kern in dem Protoplasma der leukocytoiden Zelle neben anderen kleinen violetten Körnern u. s. w. u. s. w. Alles das habe ich nie getroffen. Fast jede von den geschilderten Einschlussformen kann von Pigment begleitet werden, die Figuren werden dabei manchmal verwaschen, undeutlich Fig. 44 Taf. III). Meistens fehlt es jedoch (Figg. 16—25 Taf. II).

Damit glaube ich alle normaler Weise vorkommenden Gebilde im Epithel in Gruppen zusammengestellt und als solche beschrieben zu haben. Es müssten vielleicht noch eosinophile Leukocyten und eigenthümliche Bilder (Figg. 50 und 51 Taf. IV), die ich einige Male gesehen habe, erwähnt werden. Bei der Zählung war ich gezwungen, alles im Epithel Vorkommende zu berücksichtigen. Dabei erhebe ich nicht den geringsten Anspruch darauf, alle vorkommende Gebilde vollständig beschrieben zu haben.

Discussion der Beziehung der Epithelzellen zu den Leukocytoiden.

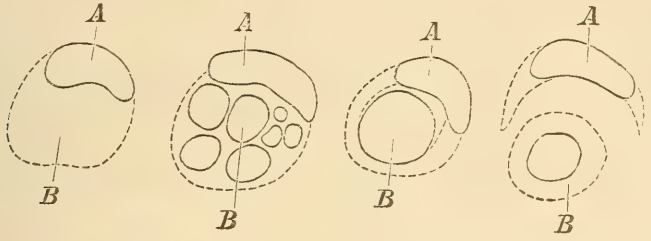
23. Was bedeuten nun diese Gebilde in den leukocytoiden Zellen und was sind diese Zellen selbst? Was für Vorgänge liegen dem Auftreten der beschriebenen Formen zu Grunde?

Wir treffen keine von diesen Gebilden weder in der äusseren Schicht noch unterhalb der Basalmembran, wenn diese unverletzt ist. Wir müssten unbedingt diese Gebilde in der dritten Epithelschicht finden, wenn sie von aussen kämen, oder unterhalb der Basalmembran, wenn sie von dem Bindegewebe oder Blute herkämen. Diese Gebilde also müssen im Epithel entstehen und vergehen.

Vor allem kann man denken, dass es sich hier um Degenerationsprocesse handelt. Es konnte vielleicht eine Epithelzelle oder eine Wanderzelle im Epithel degeneriren oder verfallen. Und in der That finden sich sichere Angaben in der neueren Litteratur über Degeneration der Leukocyten, wobei ähnliche Figuren auftreten (z. B. bei Arnold). Für die Epithelzellen fehlen noch ähnliche Bilder, diese Processe aber sind überhaupt noch ungenügend für das Epithel studirt. Sehr genaue Beobachtungen sind über Degeneration der Eizelle gemacht. Hier aber sind ähnliche Bilder wie die rothen und violetten Kugeln nicht beobachtet. Anderseits ist von allen Forschern der Satz festgestellt, dass die Chromatinsubstanz bei der Degeneration der Zelle sich nie vermehrt, sondern stets vermindert ist.

Wenden wir dieses Kriterium auf unsere Bilder an, so sehen wir sofort klar, dass manche Bilder viel mehr Chromatinsubstanz enthalten als eine Epithelzelle, manche Bilder doppelt so viel und noch mehr. Es kann also von einer Degeneration der Epithelzelle nicht in allen Bildern die Rede sein. Es könnte aber eine Wanderzelle innerhalb einer Epithelzelle degeneriren. Wir treffen jedoch selbst bei genauester Untersuchung keine Wanderzelle innerhalb einer Epithelzelle in der ersten und zweiten Schicht, wohl jedoch in der dritten Schicht, anderseits sind die leukocytoiden Zellen **mit** Einschlüssen keine Epithelzellen: das ist sicher. Es könnte nur ein Phagocyt die Wander- oder Epithelzelle verdauen und dadurch die Kugeln erzeugen, aber im Epithel finden sich keine freien Phagocyten; die leukocytoiden Zellen **ohne** Einschlüsse sind so ähnlich den Epithelzellen, dass es kein Zweifel sein kann, dass es sich nicht um Phagocyten handelt. Weiter weisen Figg. 22, 23, 24, die gar nicht selten sind, deutlich auf Processe, die nicht **im** Protoplasma der Zelle vor sich gehen, sondern die auf Umwandlung des Protoplasma's selbst beruhen: wir sehen hier fast das ganze Protoplasma in Kugeln zerfallen, ähnlich wie z. B.

manche Infusorien oder Protisten Haeckel's. Diese Bilder können nicht durch eine **Degeneration** weder der Epithelzelle, noch eines Leukocyten noch Phagocyten erklärt werden. Es muss also ein anderer Process diesen Bildern zu Grunde liegen. Um diesem Process auf die Spur zu kommen, müssen wir die nächstverwandten Formen zu diesen Bildern suchen und sie in eine Reihe zusammenstellen. Wenn diese Gebilde in der Zelle entstehen und vergehen, wenn die Kugeln irgendwie sich verändern, so kann dies nur geschehen im Sinne eines Zerfalles der Kugel, eines Wachsens oder Kleinerwerdens, eines Entfärbens oder Stärkergefärbtwerdens. Die oben § 21 aufgestellte Reihe zeigt weiter nichts als eben dies. Anderseits enthält sie alle Formen, die im Epithel, in der innersten und mittleren Reihe vorkommen. An einem Ende dieser Reihe findet sich die Zelle mit Kern, an dem anderen fast homogenes wenig färbendes Protoplasma und ein zu ihm gehörender, meist peripher liegender Kern. Diese letztere Form unter-



scheidet sich dabei so ausserordentlich wenig von der Epithelzelle, dass keine sichere Grenze zwischen ihr und der Epithelzelle angegeben werden kann.

Das eine Ende unserer Reihe also liegt in der Epithelzelle. Es ist dies eine Epithelzelle, die die Kittsubstanz verliert, und allmählich die Kernform verändert, indem in ihr rothe und violette Gebilde auftreten u. s. w. Nun frägt sich's, als welche Zellen können wir die am anderen Ende der Reihe befindlichen deuten, die an Stelle des Protoplasma's mit Figuren auftritt?

Betrachten wir die Figur 25 Taf. II, so werden wir ohne Zweifel einen Epithelkern erkennen. Figg. 23, 24 hat so reichliche Chromatinsubstanz, dass sie nichts Anderes sein kann, als auch ein Epithelkern. Solche Figuren treffen wir massenhaft oft auch allein im Epithel stehend. Andererseits spricht Fig. 26 unzweideutig für eine Wanderzelle.

Am anderen Ende der Reihe findet sich also wieder eine Epithelzelle oder eine Wanderzelle. Sämmtliche Figuren mit der Zelle vom ersten Ende der Reihe sprechen dafür, dass sie in den weiteren Gliedern der Reihe zu einer leukocytoiden Zelle wird.

24. Ferner entsteht die zweite Frage: was ist der Anfang und was das Ende des Processes?

Nehmen wir an, dass das Anfangsstadium eine Zelle mit reichlichem Protoplasma sei, dann müssen wir den ganzen Process als Entstehung neuer Zellen innerhalb der ersten deuten.

Nehmen wir dieses dagegen als das Endstadium an, dann haben wir das Untergehen einer Zelle (B) vor uns — eine Degeneration. Im ersten Falle hätten wir ausserdem eine Umwandlung einer Epithelzelle (A) in eine leukocytoide Zelle, in dem zweiten ein Entstehen einer Epithelzelle aus einer leukocytoiden Zelle. Diese letztere könnte nur ein Phagocyt sein, weil andere Zellen bis jetzt unbekannt sind, welche die Eigenschaft — andere Zellen aufzunehmen und zu „verdauen" — besässen.

Trotzdem unsere Bilder deutlich genug gegen die letztere Annahme sprechen, habe ich mir jedoch grosse Mühe gegeben, ein anderes Entscheidungsmoment zu finden, um jede „Zufälligkeit" der mikroskopischen Bilder auszuschliessen. Es schien mir der beste Weg der, die Sache experimentell anzugreifen, die Gebilde künstlich hervorzurufen und sie in ihrer Aufeinanderfolge zu studiren. Ich habe dazu sehr viele Mittel versucht, die Froschlarven in verschiedenen Nährlösungen gehalten, verschiedene Substanzen injicirt, geätzt und gereizt, aber ohne den gewünschten Erfolg. Endlich griff ich zur Elektricität und diese leistete mir gute Dienste.

25. Den Versuch selbst habe ich auf folgende Weise angestellt. Durch ein kleines mit Wasser gefülltes Glasgefäss von etwa 30 ccm Inhalt, worin sich einige Froschlarven befanden, habe ich einen faradischen Strom geleitet. Der Strom war so stark, dass die Schwänze eben nicht zuckten. Nach $^1/_4$, $^1/_2$, 1, $1^1/_2$, 2, 3, 6, 12, 24, 36, 48 Stunden habe ich je eine Froschlarve in Sublimat zur Härtung gebracht. Den Versuch habe ich mehrmals auch in verschiedenen Jahreszeiten wiederholt, indem ich ihn auf verschiedene Weise modificirte. Um z. B. zu controliren, ob vielleicht die Verschiedenheit der Froschlarve eine Rolle spielt, habe ich von ein und derselben Froschlarve in entsprechenden Zeiten ein Stück vom Schwanze abgetragen und in Sublimat gebracht.

Die Resultate waren dabei nur in Bezug auf die Zeit der Reaction der Gewebe auf den Reiz nicht immer übereinstimmend. Einmal habe ich erst nach 24 Stunden das erzielt, was ich in einem anderen Falle nach $1^1{}_2$ Stunde erzielt habe. Sonst bekam ich jedesmal dieselben Resultate.

Diese sind folgende:

Die Frenkel'schen Figuren vergrössern sich allmählich, schwellen, stossen sich von der Membran ab, saugen das Protoplasma auf und wandeln sich in die Kugel um (Figg. 34—40 Taf. III). Die ganze Zelle (erste Schicht)

vergrössert sich ziemlich stark, der Kern wandert nach dem äusseren Ende der Zelle, legt sich quer, wird bedeutend kleiner, zackig. Die Kittsubstanz verschwindet; an der Oberfläche der Zelle erscheinen rothe, linsenförmige sehr kleine Partikelchen. Die äussere Schicht des Protoplasma's trennt sich von dem Uebrigen, das sich mit den Frenkel'schen Figuren vermischt und so entsteht eine Art von Zellmembran, die mit den anderen verklebt ist und lebhaft an die Pflanzengewebe erinnert.

In den rothen Kugeln entstehen allmählich kleine bläuliche später röthliche Gebilde die, wie es scheint, von dem Inhalte des alten Kernes sich trennen. Diese Gebilde mit den an der Oberfläche entstandenen Partikelchen ordnen in der Kugel die rothe Substanz um sich herum, indem sie selbst die runde Form verlieren, und als dunkle Streifen in die Chromatinsubstanz sich umwandeln (Figg. 35, 36, 37, 38, 40 Taf. III). Andererseits kann die rothe Kugel in einen Haufen von kleinen zerfallen.

In dem Wasserbade fand ich massenhaft abgestossene Epithelzellen, genauer konnte ich jedoch die abgestossenen Zellen nicht untersuchen, denn die Flüssigkeit war mit sehr reichlichen Darmexcrementen verunreinigt.

Die beschriebenen Gebilde entstehen ohne Zweifel an Stelle des Epithelprotoplasma's. In der weiteren Entwickelung behalten sie noch dieselbe Lage wie die ursprünglich geschwollenen Frenkel'schen Figuren (vergl. Taf. III, Fig. 36 mit Figg. 38 und 40). Sie wachsen innerhalb der Zellmembran wie Bienenlarven in den Wachszellen. Die Zellenzahl kann ich trotz ihrer Bedeutung nicht angeben, da das Epithel immer unregelmässig abgesprungen und lückenhaft war. Ich kann hier im Allgemeinen sagen, dass in der äusseren Schicht die Zellen sich stark vermehren und die Zellen mit rothen Gebilden sehr häufig sind. Dieser Process dauerte im Epithel noch lange — vielleicht einige Tage, nachdem die Reizung mit Wechselströmen aufgehört hat.

26. Das Experiment zeigt also, dass die Gebilde keine Parasiten und die leukocytoiden Zellen keine Phagocyten, sondern Vorgangsformen im Epithel selbst sind. Der Anfang unserer Reihe liegt also in der Epithelzelle. Damit ist gesagt, dass der Process eine Vermehrung der Zellen ist; es entstehen aus einer Zelle zwei, drei oder vielleicht vier neue Zellen. Der alte Kern erleidet dabei eine eigenthümliche Veränderung, wodurch er mit einem Reste von Protoplasma zu einer Wanderzelle wird. Die Epithelzelle wandelt sich also um in eine leukocytoide Zelle (oder richtiger gesagt in eine phagocytoide Zelle), dann zerfällt sie in zwei, drei oder vier neue Zellen, von denen ich die Zelle mit dem alten Kerne die perigene und die im Protoplasma entstandene die endogene Zelle nennen will. Die endogene Zelle wird meistens zur Epithelzelle, seltener zur Wanderzelle. Die in § 21 beschriebenen Verhältnisse sprechen dafür, dass die Umwandlung einer Epithel-

zelle in eine leukocytoide Zelle und die Ausbildung einer neuen Zelle in ihrem Protoplasma nur im Allgemeinen Hand in Hand geht. Die einzelnen Stadien des Processes entsprechen nicht immer streng einander, obwohl keine grossen Differenzen bestehen. Nachdem die Tochterzelle fast fertig ist, wandert die alte Zelle aus, diese Auswanderung kann jedoch auch etwas früher eintreten, sodass wir die violetten Kugeln so oft alleinstehend finden. Fig. 41 Taf. III stellt eine violette Kugel und den alten Kern (perigene Zelle), der im Auswandern begriffen ist, dar. Er schickt einen langen Fortsatz aus der Höhle nach aussen und seinem ganzen Aussehen nach befindet er sich im activen oder Bewegungszustande.

Ferner giebt es Bilder in jedem Entwickelungstadium der jungen Zelle, die sich von den anderen Figuren durch eine Verwaschenheit der Formen und durch Auftreten von Pigment innerhalb der entstehenden Gebilde unterscheiden (Fig. 44 Taf. III). Vergleichen wir weiter Figg. 30, 31 mit Fig. 32, so gelangen wir zur Annahme, dass der Process in jedem Stadium stehen bleiben kann; die Gebilde zerfallen, es entwickelt sich Pigment und die Epithelzelle wandelt sich so in eine Pigmentzelle um. Es sind auch Fälle möglich, wo die Epithelzelle dabei gänzlich zerfällt, d. h. degenerirt.

27. Gehen wir jetzt zu den grauen Kugeln der kubischen Zellen der äusseren Schicht über. Aus den im §. 20 geschilderten Bildern sind vor allem zwei Thatsachen zu constatiren: 1. dass die graue Kugel ihre Grösse allmählich verändert und ihre Farbe fast gar nicht; 2. dass ihre Form in die eines Epithelkernes allmählich übergeht. Diese zwei Thatsachen lassen sich mit aller Bestimmtheit nachweisen. Es ist für die letztere Thatsache besonders wichtig, dass in der grauen Kugel ein Plasmosoma auftritt. Dies beweist, dass wir mit keiner zu Grunde gehender Wanderzelle zu thun haben, sondern mit Veränderung eines Epithelkernes, mit seiner Degeneration oder Neubildung. Wenn wir aber das Kleinerwerden der Kugel in einer Reihe von Bildern verfolgen, so kommen wir endlich auf ein Plasmosoma, das wir von den kleinsten Kugeln gar nicht mehr unterscheiden können. Es kann sich also hier nur um die Neubildung eines Epithelkernes handeln, weil im umgekehrtem Falle wir annehmen müssten, dass der Epithelkern sich in eine graue Kugel und dann allmählich in ein Plasmosoma umwandelt und dann als solches in einen Epithelkern einwandert, was Allem, was wir vom Plasmosoma wissen, widerspricht.

Nun aber entwickelt sich die graue Kugel in einer Epithelzelle mit einem Kern; wenn also aus einer Kugel ein neuer Kern wird, so müssen wir in einer Zelle oft zwei Kerne treffen, und in der That ist das der Fall. Diese Thatsache habe ich schon im §. 8 erwähnt. Damals jedoch habe ich einen von den beiden Kernen als eine Wanderzelle bezeichnet, weil wir

ebensolche Kerne in der inneren und mittleren Schicht intercellulär als Zellen treffen. Es handelt sich also um ein Auswandern des alten Kernes aus einer Epithelzelle. Dafür sprechen weiter die Thatsachen: 1. dass wir in einer Epithelzelle der dritten Schicht keine anderen Bilder sehen ausser den grauen Kugeln und Plasmosomen; wir müssten andere treffen, wenn die Wanderzelle in eine Epithelzelle einwandert und dort degenerirt; 2. dass die zwei Kerne in einer Zelle nie zusammen mit einer Kugel liegen; 3. dass zwei Kerne in einer Epithelzelle sich nur in der dritten Schicht finden u. s. w.

Freilich ganz unzweifelhafte Uebergänge beider Formen (ein epithelialer Kern und Wanderzelle) bin ich nicht sicher gesehen zu haben. (Die Zelle A Fig. 4 Taf. I könnte vielleicht als solche angesehen werden.)

Wäre aber diese Umwandlung eine sichere Thatsache, so glaube ich, wäre es kaum möglich eine solche Uebergangsform zu fixiren, denn es handelt sich offenbar nur um zwei verschiedene Functionszustände. Es handelt sich ja nur um einen Uebergang vom passiven zum activen Zustande.

28. Desswegen ist es auch schwer das weitere Schicksal der Wanderzellen mit länglichen Kernen zu verfolgen. In der ersten Schicht werden sie, wie wir gesehen haben, grösser (manchmal grösser als ein Epithelkern). Ferner liegen an der Basilarmembran grosse protoplasmafreie bläschenförmige Kerne.

Es liegt der Gedanke sehr nahe, die letzteren auch als eine neue Functionsform der ersteren Zellen anzusehen. Eine Gewissheit konnte ich darüber auch durch die Zellenzahlen nicht gewinnen, da die Zahl der bläschenförmigen Kerne ungenau ist. Man kann nämlich nur die der Membran parallel liegenden zählen; die senkrecht stehenden kann man unmöglich von den Epithelkernen unterscheiden. Dazu kommen die Kerne der durch Reproduction entstandenen Zellen. Andererseits habe ich Bilder (Fig. 56 Taf. XXII) gesehen, wo ein Durchwandern einer Wanderzelle durch die Membran unzweifelhaft ist.

Es sind also beide Möglichkeiten vorhanden. In den Blutgefässen und in dem Bindegewebe wird man sie als Leukocyten bezeichnen. Der an dem Plasmosoma entstandene Kern in der dritten Schicht entspricht dem endogenen Kerne der ersten und zweiten Schicht, der alte ausgewanderte Kern entspricht der perigenen Zelle der ersten und zweiten Schicht.

29. Ueber die Wanderzellen im Epithel ist eine Arbeit von Dr. J. H. List erschienen: Zur Morphologie wandernder Leukocyten.[1]

[1] *Archiv für mikroskopische Anatomie.* Bd. XXVIII.

Bildung der Wanderzellen aus dem Epithel (Archiblast) ist schon bei den Echinodermen und Coelenteraten beobachtet.[1]

Dass im Epithel neue Zellen endogen entstehen, haben mehrere Forscher seit lange behauptet — namentlich Pathologen.

So beschreibt in seiner Cellularpathologie Virchow Zellen, die er Physaliphoren nennt. Diese Zellen sind höchst wahrscheinlich dieselben, die ich als leukocytoide mit farbigen Einschlüssen genannt habe, ohne vorher die Virchow'sche Arbeit zu kennen. Weiter waren His, Buhle,[2] Remak,[3] Eberth,[4] Oter,[5] Hofmann, v. Recklinghausen[6] u. a. Forscher, die dasselbe nachzuweisen versuchten. Ich will nicht auf die von Cohnheim'scher Schule dagegen gemachten Einwände eingehen, da erstens der Inhalt meiner Arbeit von denselben unberührt bleibt, andererseits bin ich jedoch zu etwas anderen Resultaten gelangt als die oben genannten Forscher. Sämmtliche Forscher glaubten nämlich, die Tochterzelle werde zu einer Wanderzelle bez. zu einem Schleim- oder Eiterkörperchen, die Mutterzelle bleibe dagegen eine Epithelzelle. Meine Resultate sind die: die Tochterzelle (Kern) wird meistens zur Stellvertreterin der alten Zelle d. h. zu einer neuen Epithelzelle und die Mutterzelle — die perigene Zelle — zur Wanderzelle. Ich bin weit davon einen Widerspruch zu sehen zwischen beiden Ansichten in Betreff der Tochterzelle. Ich habe die Epithelzellen in den normalen — physiologischen — Bedingungen untersucht, jene Forscher in abnormen pathologischen. Es ist mir höchst wahrscheinlich, dass die junge Zelle unter den letzteren Bedingungen (z. B. Carcinom) nicht das letzte Stadium ihrer Entwickelung erreicht und halb entwickelt nach aussen oder nach innen abgestossen wird, um irgendwo weitere Schicksale zu erleiden (Metastase). Denn die normalen Verhältnisse geben genug Bilder wie Figg. 37, 38, die zu Gunsten der Ansichten jener Forscher sprechen. Dagegen bin ich fest überzeugt, dass die Mutterzelle stets zu einer Wanderzelle wird. Damit hängt offenbar zusammen, dass ein so grosser Reichthum an Wanderzellen in der Nähe von Krebszapfen vorhanden ist.

Die Physaliden hat Virchow in den Krebszellen reichlich gefunden. In derselben Function des Epithels hat wahrscheinlich Grund auch das Verhältniss zwischen dem Archiblast und Parablast, welches His in folgenden

---

[1] Hertwig, *Entwickelungsgeschichte.* S. 130.

[2] Virchow's *Archiv.* Bd. XXI. S. 163. Bd. XXI. S. 480.

[3] Virchow's *Archiv.* Bd. XX. S. 198.

[4] Virchow's *Archiv.* Bd. XXI. S 106. — S. 361. — *Untersuchungen aus dem pathologischen Institut zu Zürich.* II und III.

[5] *Studien aus dem Institut für experimentelle Pathologie in Wien.* 1870. I.

[6] *Centralblatt für die medicinischen Wissenschaften.* 1867. Nr. 31. — v. Recklinghausen's *Pathologie.*

Satz zusammenfasste: Die archiblastischen Gewebe wirken als ein Vegetationsreiz auf ihre parablastische Umgebung. Ueberall, wo die Berührung beider Bildungen möglich ist, da entsteht an der Grenze ein dichtes Gefässnetz, das die archiblastischen Theile umschliesst, oder zwischen dieselben sich eindrängt u. s. w.“[1] Aehnliche Bilder wie meine hat Lukjanow in dem Darm- und Drüsenepithel gefunden.[2] Es sind wahrscheinlich auch hier ähnliche Processe wie im Ektoderm. Was für physiologische Bedeutung das haben könnte, will ich nicht näher erörtern.

Pigmentzellen.

30. Es bleibt noch übrig die siebente Art der Protoplasmaeinschlüsse zu beschreiben: das Pigment.

Ursprünglich — in den embryonalen Zellen — sind keine Pigmentzellen im Organismus vorhanden; das Pigment befindet sich in allen Zellen gleichmässig reichlich. Später — mit dem Verschwinden der Dotterkugeln — wird das Pigment mehr und mehr in der Richtung nach aussen von den Epithelzellen abgelagert, so dass jede Epithelzelle nach innen frei, nach aussen mehr oder weniger mit Pigment beladen ist.

Dasselbe kommt auch im Momente der Schichtenbildung vor. Die erste Reihe legt das Pigment nach der äusseren Seite der Zelle ab, die innere bleibt frei. Die zweite Schicht macht dasselbe. In der weiteren Entwickelung treffen wir einzelne noch deutliche Epithelzellen mit Pigment schon mehr beladen wie die anderen (Fig. 45 Taf. IV). Endlich bleiben nur vereinzelte typische Pigmentzellen, die anderen Zellen sind frei (Fig. 46).

31. In dem sich regenerirenden Epithel, z. B. nach der Amputation des Schwanzes einer älteren Froschlarve, findet sich Pigment auch in jeder Epithelzelle. Die Kerne bleiben frei vom Pigment wie bei den embryonalen Zellen, das Protoplasma enthält mehr oder weniger zerstreute Pigmentkörner: am meisten Pigment liegt in der Kittsubstanz, sodass in späteren Stadien des Regenerirens sich ganze Netze von diesen Pigmentkörnern zwischen den Epithelzellen befinden, besonders in der ersten Schicht. Dazu kommen leukocytoide Zellen vor, die mit Pigment reichlich beladen sind und die Protoplasmafortsätze nach allen Richtungen zwischen die Zellen hinschicken. Diese Protoplasmafortsätze sammeln, wie es scheint, das in der Kittsubstanz abgelagerte Pigment.

32. Bei den älteren Froschlarven befindet sich unter normalen Bedingungen Pigment im Bindegewebe und im Epithel. Im Bindegewebe

[1] His, *Untersuchungen über die erste Anlage des Wirbelthierkörpers.* S. 200.
[2] *Dies Archiv.* 1887.

trifft man es in länglichen Zellen mit langen Fortsätzen nach allen Richtungen mit den Bindegewebsmaschen verbunden. Diese Zellen liegen in verschiedenen Ebenen und in allen Theilen des Bindegewebes des Schwanzes, in der Mitte; längs und quer, am Ende und an den Rändern. Weiter finden wir im Bindegewebe grosse Zellen dicht mit Pigment gefüllt (der Kern bleibt immer frei). Sie sind von zweierlei Art:

1. vereinzelte kugelige, ganz undurchsichtige, ohne Fortsätze in der Nähe vom Epithel;

2. flache, wovon fast immer mehrere mit den Fortsätzen zusammenhängen.

Im Querschnitte haben die letzteren die Gestalt lang ausgezogener dunkler Streifen (Fig. 1 Taf. I). Im Flächenschnitte stellen sie grosse, sternförmige Platten mit vielen dicken Ausläufern vor, die gewöhnlich an eben solchen Ausläufern von anderen Pigmentzellen haften (Fig. 48 Taf. IV). Sie liegen mit Vorliebe an Zellmembranen (oder vielleicht in allen Membranen) z. B. an Gefässwänden; sie umschliessen dabei das Gefäss manchmal gänzlich, besonders an den Rändern des Schwanzes; dann an der Muskelscheide, an der Wand der Chorda dorsalis u. s. w., endlich an der Membrana basilaris: hier schimmern sie durch das Epithel als dunkle Flecken hindurch.

Im Bindegewebe sind zwei Arten von Pigment:

1. dunkelbraunes körniges;

2. hell-grünlich-gelbes (Farbe vom frischen Blutkörperchen) krystallinisches (Fig. 49, Taf. IV).

Das erstere sieht man mit blossem Auge als dunkle schwarze, das zweite als hellgraue Flecken. Das letztere kommt in denselben Zellen wie das erste vor, nur in den kugeligen Zellen liegt es nie. Die Fortsätze der Zellen mit hellem Pigment sind etwas plumper abgerundet, als ob sie abgeschmolzen wären, oft deutlich in die Bindegewebsfäden auslaufend. Ihr Kern ist meistens deutlich zu sehen, bei den sternförmigen Zellen ist er von ovaler Form; bei den Zellen mit dunklem Pigment sind die Kerne sehr selten sichtbar. In der Entwickelung der Larve erscheint das helle Pigment später als das dunkle. Im Epithel befindet sich bloss das dunklere Pigment. Hier liegt es theilweise in dem Protoplasma der Cylinder- und kubischen Zellen der ersten und zweiten Schicht zerstreut, theilweise in der Kittsubstanz abgelagert, oder in besonderen Pigmentzellen angehäuft. Die normalen Epithelzellen enthalten überhaupt sehr wenig Pigment im Vergleich zu den embryonalen Zellen oder den sich nach der Amputation des Schwanzes regenerirenden.

33. Die specifischen Pigmentzellen im Epithel enthalten sehr verschiedene Mengen von Pigment; manche von ihnen sind dicht mit Pigment gefüllt, ganz undurchsichtig, rundlich oder mit zahlreichen, nach allen Richtungen auseinandergehenden, sehr langen Fortsätzen, die jedoch mit Vorliebe parallel zur Basalmembran zwischen der ersten und zweiten Schicht oder an der Membran selbst verlaufen. Sie umgeben nicht selten einzelne Epithelzellen von allen Seiten. Ihre Grösse ist verschieden; die kugeligen Zellen mit wenigen oder keinen Ausläufern, sind grösser als die anderen.

Andererseits giebt es Zellen mit oder ohne Ausläufer, die nicht so reichlich mit Pigment erfüllt sind. Diese Zellen nähern sich mit dem Verschwinden des Pigmentes ihrer Form nach allmählich den leukocytoiden Zellen mit reichlichem Protoplasma, die im §. 13 beschrieben werden. Schon im §. 20 habe ich bemerkt, dass die rothen und violetten Einschlüsse von Pigment begleitet werden können.

Figg. 30, 31, 44 Taf. II stellen solche Zellen dar. Das Pigment lagert sich nach der Peripherie in einem Kranze. Dieser Kranz besteht offenbar aus Protoplasma der leukocytoiden Zellen (*A*).

Fig. 27 Taf. II stellen ebenfalls dieselben Verhältnisse dar. Hier sieht man ausserdem die Protoplasmazüge mit Pigment von der Kernmembran ausgehen. Es scheint als ob die Chromatinsubstanz des Kernes sich in Pigment verwandle. In manchen Epithelzellen der äusseren Schicht trifft man nicht selten Pigmentklümpchen an Stelle des Plasmosoma's. Man trifft in einer ganzen Reihe von Zellen, auch im Protoplasma, eben solche Partikelchen.

Karyokinetische Figuren bei den Pigmentzellen habe ich nie beobachtet. Die Pigmentzelle als solche vermehrt sich nicht wie es scheint.

Discussion der Beziehung der Pigmentzellen zum Epithel.

34. Der Ursprung der Pigmentzellen ist auch aus den geschilderten (§§. 30, 31, 32, 33) Verhältnissen ziemlich klar. Das hellere Pigment ist offenbar das umgewandelte dunkle. Es erscheint in der Entwickelung des Organismus später, in dem entwickelten an derselben Stelle, wo die dunklen Zellen sich befanden. Es ist ein Auflösungsstadium des dunkleren. Die Zellen, in welchen das Pigment lag, werden zu grossen Bindegewebszellen mit vielen Ausläufern, die mit den anderen die Bindegewebsmaschen bilden. Manche von ihnen haben im Anfang noch ein Plasmosoma, das allmählich verschwindet. Die Identität der dunklen Pigmentzellen des Bindegewebes und des Epithels ist unzweifelhaft. Die Auflösung des Pigments im Bindegewebe geht vor sich, weil im Epithel keine Zellen mit helleren Pigment

vorhanden sind. Daraus folgt, dass die Pigmentzellen von dem Epithel in's Bindegewebe kommen, aber nicht umgekehrt.

Das Pigment bildet sich im Epithel, wie es die embryonalen und die degenerirenden Zellen nach der Schwanzamputation deutlich zeigen. Es wird in den Pigmentzellen an der Kittsubstanz aufgesammelt und nach innen abgeführt. Andererseits entsteht es dei degenerativen Processen der Epithelzellen (§. 31).

Die Zelle, die Pigment sammelt, ist ursprünglich eine Epithelzelle, die sich von den anderen ablöst und Fortsätze zwischen den Zellen hinschickt u. s. w. Denn sie enthält oft noch das Plasmosoma, welches die Wanderzellen so gut wie nie haben. Die allmähliche Umwandlung ihrer Form ist in den Bildern mit jeder überhaupt denkbaren Vollständigkeit zu sehen. Die embryonalen Pigmentzellen endlich unterscheiden sich durch gar nichts von den Epithelzellen, als nur durch reichlicheres Pigment.

Einige Epithelzellen lösen sich also von der Umgebung ab, indem in ihnen Körnchen von Pigment entstehen. Sie schicken die Fortsätze zwischen die anderen Epithelzellen, sammeln so das in der Kittsubstanz abgelagerte Pigment, werden dadurch immer dunkler und wandern als runde Klumpen in das Bindegewebe aus. Hier entfalten sie sich allmählich wieder, schicken Fortsätze zu anderen Bindegewebszellen, wobei ihr Pigment heller krystallinisch wird und endlich sich ganz auflöst, die Zelle wird zu einer Bindegewebszelle. Andere wieder lagern sich, wie wir gesehen haben, gern in Form von grossen sternförmigen Platten mit ovalen Kernen (ähnlich also den Endothelkernen) an, verschiedene Membranen verlieren allmählich ihr Pigment und werden selbst zur Muskelscheide, Gefässwand u. s. w.

35. Ueber Pigmententstehung in Cutis und Epidermis sind sehr viele Arbeiten veröffentlicht. Die ältere Litteratur ist in der *„Allgemeine Pathologie“* v. Recklinghausen's zusammengestellt. Von den neueren Arbeiten sind mir folgende bekannt:

Ehrmann, Untersuchungen über die Physiologie und Pathologie des Hautpigments. *Vierteljahrsschrift für Dermatologie und Syphilis.* 1885 und 1886.

Aeby, Herkunft des Pigments im Epithel. *Medicinisches Centralblatt.* 1885. Nr. 16.

Riehl, *Vierteljahrsschrift für Dermatologie und Syphilis.* 1884.

Kölliker, *Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie.* Bd. XLV. — *Anatomischer Anzeiger.* Bd. II.

Karg, *Anatomischer Anzeiger.* 1886.

Nach der allgemeinen Ansicht entwickelt sich Pigment im Bindegewebe des Coriums und wandert in's Epithel theils mit den Zellen, die es dahin führen, theils selbständig vermittelst der Zellfortsätze, da die Pigmentzellen des Coriums oft Ausläufer in der Epidermis haben. „In dem Epithel wird kein Pigment gebildet.“ Meistens bringt man dafür

keine Beweise, die Sache scheint selbstverständlich zu sein; so sagt z. B. Aeby kurz: „Im Epithel wird kein Pigment gebildet. Wo solches auftritt, geschieht es auf dem Wege der Einwanderung von Seiten des benachbarten Bindegewebes her. Als Träger dienen Wanderzellen“[1] u. s. w. Dr. Quincke und Dr. Ehrmann wollten obige Behauptung experimentell beweisen.[2] Sie haben die Haut gequetscht und dadurch den Blutaustritt in's Corium bewirkt. Später zeigten sich an demselben Orte die Pigmentzellen. Sie glauben dadurch den Beweis zu liefern dafür, dass das Pigment von haemotogenem Ursprung ist. Daraus jedoch zu schliessen, dass das Pigment **nur** auf diesem Wege entsteht, ist, glaube ich, unzulänglich. Nach meinen Untersuchungen befindet sich das Pigment schon im Epithel des Embryo's, während die Zellen noch mit Dotterkugeln dicht gefüllt sind, und im Epithel noch keine den Leukocyten ähnliche Zellen sich finden, indem in dem Kreislauf noch unvollkommene Blutkörperchen existiren, ja, indem noch kein Kreislauf existirt. Ausserdem spricht die Pigmentatrophie der Gewebe deutlich genug gegen die obige Deutung des Experiments. Endlich ist unmittelbar beobachtet ein Uebergang der Pigmentzellen in die Blutgefässe.[3]

Ebensowenig Beweiskraft besitzt das Experiment von Dr. Karg, der ein weisses Hautstück auf einen Neger transplantirte und Negerhaut auf einen Weissen. Im ersten Falle hat er Schwärzung der Haut mit der Zeit gefunden, in dem zweiten das Weisswerden constatirt. Nun habe ich schon oben bemerkt, dass die äussere Farbe der Haut nicht nur auf der Bildung des Pigments beruht, sondern auch auf seiner Aufbewahrung bezw. Nichtzerstörung. Worauf die verschiedene Zeitdauer der Lösung des Pigments zurückzuführen ist, weiss ich nicht, die Thatsache selbst kann man jedoch jeder Zeit mikroskopisch constatiren. Beim Neger kann offenbar das Pigment in derselben Quantität gebildet werden, wie beim Weissen, aber bei diesem wird es rascher, bei jenem langsamer zerstört. Bei Negern sind ja auch gelegentlich weisse Hautstellen beobachtet.

Zahlenverhältnisse der verschiedenen Zellen.

36. Folgende Tabelle (S. 26 bis 30) enthält Zellenzahlen in einem Querschnitte des Schwanzes. So habe ich noch vier Schnitte vollständig gezählt und in 15 Schnitten unvollständig, nur einzelne Zellenarten, wie z. B. Zellen mit Einschlüssen, Kerntheilungsfiguren u. s. w. Die in §§. 37, 41 gegebenen Zahlen sind Mittelzahlen von allen gezählten Schnitten. Die Zählung habe ich mit Oelimmersion (Seibert $^1/_{12}$) und nur an hellen Tagen vorgenommen.

[1] *Medicinisches Centralblatt.* S. 274.

[2] *Vierteljahrsschrift für Dermatologie und Syphilis.* S. 512.

[3] v. Recklinghausen, *Allgemeine Pathologie.* S. 445.

Gesichtsfeld	In der ersten Schicht									Gesammtzahl	In der zweiten Schicht									Gesammtzahl	In der dritten Schicht									Gesammtzahl
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		1	2	3	4	5	6	7	8	9		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1. Epithelzellen	9	18	16	18	21	17	16	20	18	143	8	15	20	20	22	23	15	14	15	152	5	12	15	16	15	14	12	14	12	115
2. Plattenepithelzellen																					5	5								10[7]
3. Zellen m. gr. runden Kernen der dritten Sch.[1]																							13	13	14	12	8	5	13	78[7]
4. Kerntheilungsfig.						1				1						1				1										
5. Plasmosoma ausserhalb des Kernes									1	1																		1		1
6. Grosse Kugeln der dritten Schicht[2]																							1	3			1	1		6
7. Leukocytoide Zellen										14										5										2
8. Leukocytoide Zellen mit runden Kernen[3]		1			1				1	3																				
9. Grosse Leukocyten[4]							2			2																				
10. Leukocytoide Zellen mit länglichen Kernen[5]												1	1			1		2		5		1								1
11. Leukocyten mit reichlichem Protoplasma[6]			1						1	2																	1			1
12. Farbige Einschlüsse			1		1			2		4																				
13. Pigmentzellen, wenig pigmentirt	1	1		1						3																				
14. Pigmentzellen, reichlich pigmentirt																														

Gesichtsfeld	19	20	21	22	23	24	25	26	27		19	20	21	22	23	24	25	26	27		19	20	21	22	23	24	25	26	27	
1. Epithelzellen	17	20	17	18	17	16	18	15	16	154	12	16	9	9	8	6	14	12	12	98	14	13	11	13	10	9	11	8	11	110
2. Plattenepithelzellen													4									2	4	1	4	4	3	3		
3. Zellen m. gr. runden Kernen der dritten Sch.												2								2	14	7	7	7	3	2	4	5		
4. Kerntheilungsfig.	2				1			1		4																				
5. Plasmosoma ausserhalb des Kernes					1					1																				
6. Graue Kugeln der dritten Schicht																							1							1
7. Leukocytoide Zellen										6										11										2
8. Leukocytoide Zellen mit runden Kernen									1	1																				
9. Grosse Leukocyten																														
10. Leukocytoide Zellen mit länglichen Kernen								1		1	1	2	1	1		1			2	8				1	1					2
11. Leukocyten mit reichlichem Protoplasma																														
12. Farbige Einschlüsse	1					1	1			3																				
13. Pigmentzellen, wenig pigmentirt										1																				
14. Pigmentzellen, reichlich pigmentirt																														

[1] Siehe Text § 8. [2] Text § 18. [3] § 11. [4] § 11. [5] § 11. [6] § 12. [7] Es fehlen 27 Zellen (115 — [10 + 78]). Die fehlenden Zellen sind (§ 8) den Zellen der zweiten Schicht ähnlich.

Gesichtsfeld	In der ersten Schicht									Gesammtzahl	In der zweiten Schicht									Gesammtzahl	In der dritten Schicht									Gesammtzahl
	28	29	30	31	32	33	34	35	36		28	29	30	31	32	33	34	35	36		28	29	30	31	32	33	34	35	36	
1. Epithelzellen	15	16	20	16	18	15	17	17	17	151	14	17	14	9	14	13	16	17	15	129	10	10	11	11	6	9	6	6	10	79
2. Plattenepithelzellen																					9	10								
3. Zellen m. gr. runden Kernen der dritten Sch.																					1		3	4	1			2		
4. Kerntheilungsfig.	1			1	1					3	1									1										
5. Plasmosoma ausserhalb des Kernes	1									1								1		1										
6. Graue Kugeln der dritten Schicht																												1		1
7. Leukocytoide Zellen										7										2										
8. Leukocytoide Zellen mit runden Kernen									1	1																				
9. Grosse Leukocyten				1						1																				
10. Leukocytoide Zellen mit länglichen Kernen				1			1			2					1	1				2										
11. Leukocyten mit reichlichem Protoplasma																														
12. Farbige Einschlüsse					1/2																									
13. Pigmentzellen, wenig pigmentirt	1				1/2		1			3																				
14. Pigmentzellen, reichlich pigmentirt																														

Etwas Pigment im Epithel

Gesichtsfeld	37	38	39	40	41	42	33	44	45		37	38	39	40	41	42	43	44	45		37	38	39	40	41	42	43	44	45	
1. Epithelzellen	16	19	20	19	17	17	16	17	21	162	11	12	13	15	16	18	15	16	10	130	9	11	12	11	8	11	10	12	9	84
2. Plattenepithelzellen																														
3. Zellen m. gr. runden Kernen der dritten Sch.																			1											
4. Kerntheilungsfig.																														
5. Plasmosoma ausserhalb des Kernes	1			1					1	3													1		2					3
6. Graue Kugeln der dritten Schicht																							1							1
7. Leukocytoide Zellen										10										9										
8. Leukocytoide Zellen mit runden Kernen	1		2	1						4																				
9. Grosse Leukocyten																														
10. Leukocytoide Zellen mit länglichen Kernen						1	1			2		1		1			1	2		5										
11. Leukocyten mit reichlichem Protoplasma			1				1			2	1				1				1	3										
12. Farbige Einschlüsse				1				1		2				1						1										
13. Pigmentzellen, wenig pigmentirt																														
14. Pigmentzellen, reichlich pigmentirt																														

Gesichtsfeld	In der ersten Schicht									Gesammtzahl	In der zweiten Schicht									Gesammtzahl	In der dritten Schicht									Gesammtzahl
	46	47	48	49	50	51	52	53	54		46	47	48	49	50	51	52	53	54		47	48	49	50	51	52	53	54	55	
1. Epithelzellen	18	21	19	17	22	19	24	10		150	14	19	11	15	12	16	21	9		117	9	12	11	9	15	14	11	11		83
2. Plattenepithelzellen																						3	4					2		
3. Zellen m. gr. runden Kernen der dritten Sch.										1						2				2	4	5	5	9			4	9		36
4. Kerntheilungsfig.					1					1				1?						1?										
5. Plasmosoma ausserhalb des Kernes																														
6. Graue Kugeln der dritten Schicht												1				1				2	1			1	1	1		1		5
7. Leukocytoide Zellen										11										5										2
8. Leukocytoide Zellen mit runden Kernen		1				1	1	1		4																				
9. Grosse Leukocyten			1	1		1				3																				
10. Leukocytoide Zellen mit länglichen Kernen												1	1							2		1				1				2
11. Leukocyten mit reichlichem Protoplasma														1		1				2										
12. Farbige Einschlüsse		1	1	1		1				4	1									1										
13. Pigmentzellen, wenig pigmentirt																														
14. Pigmentzellen, reichlich pigmentirt																														

Der Rücken des Schwanzes

Gesichtsfeld	61	60	59	58	57	56	55	54			61	60	59	58	57	56	55	54			61	60	59	58	57	56	55	54		
1. Epithelzellen	18	17	20	19	22	20	19			135	16	17	16	22	12	15	21			119	14	10	14	14	12	17	12			93
2. Plattenepithelzellen																					1					1	2			4
3. Zellen m. gr. runden Kernen der dritten Sch.																1				1	6			5	10	9	3			33
4. Kerntheilungsfig.												1	1				2			4					1?					1?
5. Plasmosoma ausserhalb des Kernes		1								1		1								1						1				1
6. Graue Kugeln der dritten Schicht																									1	3				4
7. Leukocytoide Zellen										4										2										4
8. Leukocytoide Zellen mit runden Kernen		1								1																				
9. Grosse Leukocyten		1					1			2																				
10. Leukocytoide Zellen mit länglichen Kernen															1					1	1	2	1							4
11. Leukocyten mit reichlichem Protoplasma										1																				
12. Farbige Einschlüsse	1						1			2		1								1										
13. Pigmentzellen, wenig pigmentirt																														
14. Pigmentzellen, reichlich pigmentirt																														

Die linke Seite des Schwanzes

Sehr grosse Plasmoz.

Die linke Seite des Schwanzes

Gesichtsfeld	In der ersten Schicht									Gesammtzahl	In der zweiten Schicht									Gesammtzahl	In der dritten Schicht									Gesammtzahl
	70	69	68	67	66	65	64	63	62		70	69	68	67	66	65	64	63	62		70	69	68	67	66	65	64	63	62	
1. Epithelzellen	17	16	17	18	21	18	15	21	19	161	18	17	16	17	15	16	16	15	21	151	9	12	11	11	11	9	11	11	9	94
2. Plattenepitselzellen																					3	3		2	5	5	2			20
3. Zellen m. gr. runden Kernen der dritten Sch.																					3	3	5	4		4	1	9	2	31
4. Kerntheilungsfig.	2				1					3				1	1					2										
5. Plasmosoma ausserhalb des Kernes		1		2						3			2							2			1				1			2
6. Graue Kugeln der dritten Schicht																														
7. Leukocytoide Zellen										8										6										3
8. Leukocytoide Zellen mit runden Kernen		1				1				2																				
9. Grosse Leukocyten	1									1																				
10. Leukocytoide Zellen mit länglichen Kernen						2				2	1			1					1	3	1					1	1			3
11. Leukocyten mit reichlichem Protoplasma																														
12. Farbige Einschlüsse								1		1	1									1										
13. Pigmentzellen, wenig pigmentirt								1	1	2									2	2										
14. Pigmentzellen, reichlich pigmentirt																														

Gesichtsfeld	79	78	77	76	75	74	73	72	71		79	78	77	76	75	74	73	72	71		79	78	77	76	75	74	73	72	71	
1. Epithelzellen	17	19	16	13	17	18	18	16	18	152	13	13	14	9	14	10	12	15	13	113	12	14	11	11	13	15	12	11	10	109
2. Plattenepithelzellen																					6	1	5		5	2		2		21
3. Zellen m. gr. runden Kernen der dritten Sch.																												5	2	7
4. Kerntheilungsfig.		1							1	2																				
5. Plasmosoma ausserhalb des Kernes																														
6. Graue Kugeln der dritten Schicht																					1	1					1	1		4
7. Leukocytoide Zellen										7										12										4
8. Leukocytoide Zellen mit runden Kernen						1		1		2																				
9. Grosse Leukocyten							1	1		2							2			2										
10. Leukocytoide Zellen mit länglichen Kernen											2	3	1			1				7	1			1				2		4
11. Leukocyten mit reichlichem Protoplasma																														
12. Farbige Einschlüsse																														
13. Pigmentzellen, wenig pigmentirt			1		1					2			1			1				2										
14. Pigmentzellen, reichlich pigmentirt					1					1			1							1										

Etwas Pigment im Epithel

Gesichtsfeld	In der ersten Schicht										In der zweiten Schicht										In der dritten Schicht									
	88	87	86	85	84	83	82	81	80	Gesammtzahl	88	87	86	85	84	83	82	81	80	Gesammtzahl	88	87	86	85	84	83	82	81	80	Gesammtzahl
1. Epithelzellen	15	15	15	12	16	17	17	15	18	140	12	10	15	15	17	16	15	17	14	131	11	10	11	8	12	9	10	11	9	91
2. Plattenepithelzellen																						2	9	8			3	4	2	28
3. Zellen m. gr. runden Kernen der dritten Sch.																												2		2
4. Kerntheilungsfig.			1				1			2		1						1		2									1	
5. Plasmosoma ausserhalb des Kernes	1									1																			1	3
6. Graue Kugeln der dritten Schicht										12										5										5
7. Leukocytoide Zellen																														
8. Leukocytoide Zellen mit runden Kernen	1						1			2																				
9. Grosse Leukocyten				1		1				2																				
10. Leukocytoide Zellen mit länglichen Kernen				1		1				2				1	1				1	3		2			1				2	5
11. Leukocyten mit reichlichem Protoplasma																				1										
12. Farbige Einschlüsse	1	1		1						3										1										
13. Pigmentzellen, wenig pigmentirt	1						1	1		3																				
14. Pigmentzellen, reichlich pigmentirt																														

Gesichtsfeld		96	95	94	93	92	91	90	89		97	96	95	94	93	92	91	90	89		96	95	94	93	92	91	90	89	
1. Epithelzellen		26	22	19	18	18	19	17	15	154		18	18	16	18	10	10	8	10	108	15	13	14	13	13	12	15	9	104
2. Plattenepithelzellen																					5	2	2	2		3		7	19
3. Zellen m. gr. runden Kernen der dritten Sch.																					10	11	12	12	12	10	5	10	70
4. Kerntheilungsfig.																													
5. Plasmosoma ausserhalb des Kernes																													
6. Graue Kugeln der dritten Schicht																													
7. Leukocytoide Zellen										6										5									2
8. Leukocytoide Zellen mit runden Kernen				1	2					3				1						1									
9. Grosse Leukocyten													1							1									
10. Leukocytoide Zellen mit länglichen Kernen															1	1		1		3							1	1	2
11. Leukocyten mit reichlichem Protoplasma																													
12. Farbige Einschlüsse																													
13. Pigmentzellen, wenig pigmentirt							1	1	1	3																			
14. Pigmentzellen, reichlich pigmentirt																									1				1

37. Die Zahlenverhältnisse zeigen eine immer geringere Zahl der Zellen in den Schichten von unten nach oben.

Die Zellenzahl der dritten Schicht beträgt 975, die der zweiten etwas mehr als 1500. Um das Zahlenverhältniss der Fläche zu bekommen, müssen wir diese Zahlen quadriren. Es wird aber dieses Verhältniss 940,625:2,253,000 oder fast $^2/_5$; für die zweite Schicht fast $^3/_5$.

Frenkel hat folgendes Raisonnement aufgestellt: „Wenn die äussere Zellschicht einem fortwährenden Untergange geweiht ist und an deren Stelle wieder neue Schichten treten, so muss von der innersten, der Basalmembran anliegenden Schicht eine stete Zellerneuerung stattfinden. Es ist dabei von vornherein anzunehmen, dass die Zellen der innersten Schicht die der mittleren und diese die der äussersten Schichten liefern.“ (Nerv und Epithel S. 423.)

Ist das richtig, so werden je fünf Zellen der ersten Schicht zu zwei in der dritten. Da die zwei Zellen der unteren Schicht nicht zu einer zusammenfliessen können, so müssen $^2/_3$ der ersten Schicht aus dem Epithel eliminirt werden. Sie gehen nicht nach aussen (ausser vielleicht bei der Entzündung als Eiterkörperchen), folglich müssen sie nach innen gehen. Damit habe ich einen objectiven Beweis für die oben geschilderten Metamorphosen der Epithelzellen gewonnen.

Die Frenkel'sche Annahme muss aber, wie wir gesehen haben, vervollständigt werden, denn es regeneriren sich nicht nur die erste Schicht, sondern auch beide andere.

Der Eliminirungsprocess muss also noch intensiver sein.

Man kann jedoch Folgendes dagegen einwenden: Die untere Schicht vermehrt sich stark durch die Theilung, in der obersten Schicht ist aber die Theilung sehr selten. Indem also die Zellen der ersten Schicht zu den der dritten werden, wird die Zelltheilung in der ersten vor sich gehen und dadurch wird diese Zahlendifferenz entstehen. Ist dies nun so, dann muss das betreffende Organ in demselben Verhältniss gewachsen sein während der Periode, in welcher die erste zur dritten Schicht wird. Wie lang diese Periode für den Froschlarvenschwanz ist, weiss ich nicht. Am Rumpf glaube ich jeden Monat periodische Zellschichten abstossen gesehen zu haben. Sicher ist aber eine monatliche Abstossungsperiode bei dem Triton. Bei diesem haben wir ungefähr 4 Schichten mit den Zellenzahlen 1:4. Dann wird die erste Schicht in 4 Monaten zur vierten. Die Oberfläche des Tritonenschwanzes muss dann 4mal oder die Länge ungefähr 2mal so gross werden, als sie 4 Monate vorher war. Ich habe beobachtet, dass Tritonen und Froschlarven in der Gefangenschaft während mehrerer Monate eher kleiner als grösser werden, indem die Hautabstossung ganz regelmässig vor sich ging.

Es bliebe vielleicht übrig zu sagen, dass die Epithelzellen einfach degeneriren und zerfallen. In gewissem Sinne ist das auch wahr. Die Epithelzelle degenerirt und wird zu einer Wander- oder Bindegewebszelle (Pigmentzelle). Es kommen auch gewiss Fälle vor, wo sie dabei gänzlich untergeht. Im Ganzen aber wird es schon a priori bedenklich erscheinen, dass das Gewebe sich in so grossem Maasse reproducirt, um ganz zwecklos für den Organismus zu degeneriren (zwecklos, weil die Zellen der äusseren Schicht degeneriren). Gerade die schönsten Einschlüsse habe ich bei einem nach der Amputation des Schwanzes sich regenerirenden Epithel gefunden.

Schichtenbildung.

38. Eine Epithelzelle kann also folgende Schicksale haben:

1. sie kann sich theilen,
2. sie kann nach oben gehen,
3. sie kann sich unmittelbar in eine leukocytoide Zelle umwandeln (Pigmentzelle), eine Pigmentzelle werden, bezw. zerfallen,
4. in eine perigene und endogene Zelle zerfallen.

Diese vier Modi ermöglichen verschiedene physiologische und pathologische Processe im Epithel, wie Wachsthum, Schichtenbildung, Degeneration, Anpassung an die verschiedenen Lebensbedingungen u. s. w.

Es frägt sich nun, ob jede Epithelzelle jede von den vier Möglichkeiten durchmachen kann. Wenn jede dies Alles kann, dann hinge dies nicht unmittelbar von der Zelle selbst d. h. von ihrer Structur ab, sondern von äusseren Bedingungen, wie z. B. mechanischen Einwirkungen vom Orte, wo sich die Zelle befindet, u. s. w. ab. Wir haben jedoch in unseren Bildern gewisse Anhaltspunkte, um zu behaupten, dass dies in gewissen Fällen von der Zelle selbst abhängt. So z. B. finden wir, dass Zellen in der zweiten Schicht manchmal zu dem werden, was sie normaler Weise nur in der dritten Schicht erleben: zu Zellen mit den grauen Kugeln und mit den grossen hellen Kernen nämlich; oder wir treffen in derselben Schicht nicht selten Zellen mit exquisitem Plattenepithelkern. Es sind das offenbar in Folge vielleicht mechanischer Ursachen in der zweiten Schicht zurückgebliebene Zellen. (Solches nachzuweisen für die erste Schicht, war für mich unmöglich, da die Kerne zu ähnlich sind.) Daraus glaube ich schliessen zu dürfen, dass diejenigen Zellen, welche nach aussen gehen, schon structurell sich von den benachbarten Zellen der ersten Schicht, die unten bleiben, unterscheiden. Nun fragt es sich, welche Zellen der ersten Schicht nach oben (aussen) gehen?

39. Nach den Frenkel'schen Angaben wird es die Mutterzelle sein, nach meiner Untersuchung wird die Mutterzelle zu einer Wanderzelle (perigene Zelle). Ich muss also andere Zellen und andere Kräfte suchen, die sie nach oben führen. In der ersten Schicht ist, glaube ich, nur eine solche Kraft: die Theilung der Zellen. Und ihre Rolle dabei wird uns sofort klar, wenn wir die allgemeine Anordnung der Zellen und die Zahl der Theilungsfiguren in Betracht ziehen. Sehen wir uns die Zellen der ersten Schicht an, die in die zweite Schicht ragen. Fig. 2 Taf. I stellt eine solche Zelle dar. Ihre Form ist pyramidal mit der Spitze nach innen gerichtet. Der Kern ist oval, senkrecht zur Schichtebene stehend. Die beiden Nachbarzellen sind Cylinderzellen, beide reichen mit einem Ende an die zweite Schicht, beide sind nach unten breiter, beide durch Querfäden mit den anderen Zellen verbunden, die Kerne sind oval, ebenso gross wie der Kern der nachfolgenden Zelle. Ebenso müssen die anderen zwei oder drei, den anderen Seiten der Pyramide entsprechenden Zellen geformt sein Diese Bilder sind durchaus typisch; man trifft sie überall. Nach der Meinung von Frenkel wird diese Zelle durch die darunter wachsende junge Epithelzelle nach oben gedrängt. Der Kern wandert dabei zuerst nach dem anderen Ende der Zelle, activ oder in der von Frenkel angegebenen Weise gedrängt. Die letztere Thatsache kann ich nur bestätigen, weil man sehr oft den Kern der Cylinderzelle an dem äusseren Ende der Zelle stehend sieht. Ich glaube aber, dass der Kern dabei auch das Protoplasma um sich sammelt und nach oben führt; die seitlichen Zellen schieben sich dabei activ oder durch den Druck nach oben.

Einmal habe ich ein solches Bild gesehen, wie es Fig. 42 Taf. III darstellt. Eine Epithelzelle hat sich eben getheilt. Die eine der beiden jungen Zellen ist schon halb in der zweiten Schicht, die andere bleibt unten stehen. Dieses Bild ist, glaube ich, entschieden mit den Frenkel'schen Annahmen unvereinbar: Hat sich die Mutterzelle der Zelle *A* getheilt, so könnte sich die Zelle *C* nicht unten befinden und mit der Membran zusammenhängen. Es ist offenbar die Zelle *C* an Stelle der Mutterzelle geblieben und die andere musste in Folge von besonderen mechanischen Bedingungen direct nach oben gehen, was freilich sehr selten geschieht. Nimmt man umgekehrt an, dass die Zelle *A* während der Zelltheilung entstanden ist, und dadurch die Zelle *B* emporgehoben hat, so widerspricht dies auch den Frenkel'schen Behauptungen, denn die Zelle *B* kann nicht die Mutterzelle von *A* sein.

Ferner sprechen für meine Annahme folgende Thatsachen:

Die seitlichen Nachbarzellen von der nach oben gehenden Zelle ragen fast immer bis an die zweite Schicht. Es ist dicker nach unten, nicht bloss eine Nachbarzelle, sondern beide; die Grenzlinie zwischen den Schichten

ist zackig. Diese Zacken sind Reste der Pyramidenspitzen, die bis an die Membran reichten, es sind Spuren des nach oben gegangenen Protoplasma's.

40. Man braucht nicht anzunehmen, dass eine der durch die Theilung entstandenen Zellen sofort nach oben geht. Das ist entschieden nicht der Fall, da die Theilungsebene senkrecht zur Basalmembran steht. Die Zelltheilung erzeugt nur eine Zelle, die die Stelle der nach oben gegangenen Zelle einnimmt, um später selbst nach oben zu gehen. Die letztere Zelle unterscheidet sich, wie wir oben (§ 37) gesehen haben, structurell von den anderen unten bleibenden, es muss also auch die erste sich gleichfalls von dieser unterscheiden. Von den zwei neuentstandenen Zellen geht nur eine nach oben, die zweite bleibt unten; daraus folgt, dass der Theilungsprocess zwei structurell ungleichartige Zellen erzeugt. Durch die Zelltheilung entsteht also eine Differenzirung des Epithelgewebes in zwei Schichten. Dann aber muss das Wachsthum des Epithelgewebes Folge eines anderen Processes sein. Diese andere Art ist der oben beschriebene Regenerationsprocess der Zellen. (Zerfall in endogene und perigene Zelle.)

In dem embryonalen Epithel hat man schon längst gefunden, dass trotz des stärksten Wachsthums der Organe die Zelltheilung sehr selten vorhanden ist. Ich habe die Theilungsfiguren beim Epithel, das noch Dotterkugeln enthielt, gezählt und habe gefunden, dass eine Theilung ungefähr auf 100 Zellen vorkommt; bei den erwachsenen Froschlarven kommt eine ungefähr auf 90 Zellen (siehe Tabellen), also ebenso häufig, wenn nicht häufiger. Bei dem Embryo sind die rothen und violetten Einschlüsse ebenfalls selten, deswegen habe ich Grund zu vermuthen, dass es noch eine Zellentstehungsart gäbe, welche ich jedoch zu wenig untersucht habe, um hier etwas Positives darüber berichten zu können.

Bei der Regeneration des Epithels nach der Amputation des Schwanzes sind die Theilungsfiguren sehr häufig, dabei vollzieht sich aber auch gerne Differenzirung. Umgekehrt, bei der Heilung der Epithelwunden (dazu habe ich mit dem Höllenstein die Epithelschicht geätzt) ist die Theilung sehr selten. Eine verschiedene Dauer des Theilungsvorganges in jedem dieser Fälle ist kaum anzunehmen.

Die zweite der durch Theilung entstandenen Zellen wird sich in der folgenden Periode wieder theilen oder zu einer anderen producirenden Zelle (Fall 4) werden, resp. unmittelbar zu einer leukocytoiden Zelle werden (Fall 3). Wenn diese Zelle sich theilen würde, dann müssten zwei Zellenarten im Epithel von vornherein vorhanden sein: Zellen, die sich theilen, und solche, die sich reproduciren. Es müssten beim Embryo dieselben Zellenarten existiren. Es ist also viel wahrscheinlicher anzunehmen, dass durch die Theilung einerseits die Zellen der zweiten Schicht entstehen, anderer-

seits die sich reproducirenden Zellen. Damit ist gleichzeitig gesagt, dass die so reproducirte Zelle sich später ebenfalls theilen wird.

41. In der zweiten Schicht giebt es für eine Epithelzelle wieder alle vier Möglichkeiten, sich umzubilden; nur die endogene Zelle schien mir meistens zu einer leukocytoiden Zelle zu werden. Ist die letztere Thatsache sicher, so müssen wir annehmen, dass die von unten kommende Zelle sich in der zweiten Schicht theilen wird. Die Theilung schafft auch hier eine Zelle, die nach oben geht, und eine zweite, die sich reproducirt. In der dritten Schicht kann die von unten gekommene Zelle sich nur reproduciren, und die reproducirte zu einem Plattenepithel werden und sich abstossen.

Wir wollen diese Verhältnisse in ihrer räumlichen und zeitlichen Aufeinanderfolge schematisch darstellen, um eine Uebersicht zu gewinnen und an der Hand von Zahlen einen Einblick in ihre Zusammenhänge zu thun. Die Erneuerung der Zellen in der ersten Schicht kommt nur durch die Kerntheilung und endogene Zellbildung zu Stande. Da sich alle Zellen dieser Schicht in einer gewissen Periode erneuern, und da diejenigen Zellen, die sich theilen, und diejenigen, die sich endogen bilden, nicht dieselben sind, so muss es immer so viel Zellen beider Art geben, als nöthig sind, um im Anfang der nächsten (monatlichen) Periode wieder dieselbe Zellenzahl zu haben.

Nennen wir die Zellen, die sich im Laufe einer Periode theilen, *T*-Zellen, und die anderen *Pr*-Zellen.

(Die Theilung einer Zelle dauert wahrscheinlich einen Tag.) Von jeder dieser Zellenarten stammen alle anderen Zellen im Epithel ab, wir müssen also auch in unserem Schema alle Zellen von einer dieser Zellenarten, *T*- oder *Pr*, ableiten.

Wollen wir z. B. von der *T* ausgehen. In der ersten Periode haben wir nur *T*-Zellen, in der zweiten sind aus diesen Zellen *Pr* und solche geworden, die später nach der zweiten Schicht gehen und die wir *O* nennen wollen. In der dritten Periode sind aus *Pr*, *T* und *L* (*L*-Zellen) geworden, die allmählich auswandern, in der vierten theilen sich *T*-Zellen und dadurch gehen *O* nach der zweiten Schicht u. s. w.

Periode	1	2	3	4	5	6	7
I. Schicht	*T*	*Pr*+*O*	*T*+*L*+*O*	*Pr*+*O*	*T*+*L*+*O*	*Pr*+*O*	*T*+*L*+*O*
II. Schicht	—	—	—	*T*	*Pr*+*O*	*T*+*L*+*X*	*Pr*+*O*+*X*
III. Schicht	—	—	—	—	—	*Pr*	*Pl*+*L*+*X*

In der Periode 4 gehen die Zellen *O* von der ersten in die zweite Schicht, wo sie sich in der fünften Periode theilen. Daraus entstehen hier *Pr*- und *O*-Zellen. Aus *Pr* entstehen in der sechsten Periode perigene Zellen *L* und endogene, die wir *X* nennen wollen. In derselben Periode kommen die Zellen *O* aus der zweiten Schicht in die dritte, wo sie die grauen Kugeln bilden; sie entsprechen also den Zellen *Pr* der ersten und zweiten Schicht. In der Periode 7 zerfallen die Zellen *Pr* der dritten Schicht in Plattenepithel und *L*, in der achten stossen sie sich ab vom Epithel.

In den Perioden 1, 3, 5, 7 u. s. w. sind also in der ersten Schicht Zellen *T* vorhanden, in den Perioden 2, 4, 6 u. s. w. die Zellen *Pr*.

In der Wirklichkeit sehen wir aber karyokinetische Figuren und farbige Einschlüsse gleichzeitig neben einander, wir müssen also unser Schema dadurch vervollständigen, dass wir zur zweiten Periode *T* hinzusetzen. In Folge dessen müssen wir zu den anderen Perioden jede vorausgehende Periode auch hinzusetzen als Folgen des der zweiten Periode hinzugesetzten *T*.

Dann bekommen wir folgendes Schema:

Periode	1	2	3	4	5
I. Schicht	*T*	*T+O+Pr*	*O+Pr+O+T*	*O+T+L+Pr+O*	*T+Pr+L+O+O*
II. Schicht	—	—	—	*T*	*T+Pr+O*
III. Schicht	—	—	—	—	—

Periode	6	7	8
I. Schicht	*Pr+O+T+L+O*	*Pr+O+T+L+O*	*Pr+O+T+L+O*
II. Schicht	*T+Pr+O+L+X*	*Pr+O+T+L+X*	*Pr+O+T+L+X*
III. Schicht	*Pr*	*Pl+Pr*	*Pr+Pl+X*

Dies Schema ist jedoch noch insofern unvollständig, als die Pigmentzellen bezw. in Pigmentzellen umwandlungsfähige Zellen fehlen.

Aus dieser Tabelle müssen die Zahlenverhältnisse der Zellen folgende sein:

Die Zahl der Theilungsfiguren ist = der Zahl der Zellen mit rothen und violetten Einschlüssen, = der Theilungszahl der zweiten Schicht, = den farbigen Einschlüssen dieser Schicht.

Die wirklichen durch unmittelbare Zählung gefundenen Zahlenverhältnisse sind folgende:

Die Zellenzahlen der drei Schichten verhalten sich ungefähr wie 5:3:2. Die Zahl der Theilungsfiguren in der ersten Schicht ist durchschnittlich = 20

und die der farbigen Einschlüsse = 18. Die analogen Zahlen der zweiten Schicht sind 15 und 12.

Vergleichen wir die auf beiden Wegen gefundenen Zahlenverhältnisse, so ergiebt sich, dass der Unterschied nicht sehr gross ist und dass er von unten nach oben wächst. Dieser Unterschied war aber schon vorauszusehen, weil ich in der Tabelle die Zahl der sich unmittelbar in leukocytoide Zellen umwandelnden (Pigmentzellen) und zerfallenden Epithelzellen nicht berücksichtigt habe.

In der ersten Schicht ist es die Zelltheilung, welche die Zellen der ersten in die zweite Schicht führt. In demselben Moment geht in der zweiten Schicht ein Zerfall in perigene und endogene Zellen vor sich, in Folge dessen beide Zellen meistens zu *L*-Zellen werden. Die von unten kommende Zelle nimmt ihre Stelle ein. Jetzt theilt sich die entsprechende Zelle in der zweiten Schicht und drängt die andere Zelle nach oben in die dritte Schicht. In Folge der Theilung entsteht in der zweiten Schicht eine Zelle, die sich reproducirt, und eine andere, die nach oben gehen wird.

In der dritten Schicht kommen das Plattenepithel und die cubischen Zellen vor. Die von unten kommende Zelle nimmt die Stelle von der Plattenzelle ein und wird allmählich zu einer cubischen Zelle, indem die cubische Zelle sich regenerirt und zur Plattenepithelzelle wird.

42. So wird, glaube ich, ungefähr die Schichtenbildung vor sich gehen. Das gilt selbstverständlich nur für normale Verhältnisse. Es muss die Schichtenbildung ganz anders stattfinden, z. B. in der am Anfang geschilderten Missbildung.

Da sind ebenfalls drei Schichten. Die Zellen der dritten Schicht haben freilich einen etwas anderen Charakter als die Plattenepithelzellen, weil die mechanischen Verhältnisse da ganz anders als an der Oberfläche sich gestalten. Diese Schicht unterscheidet sich ebenfalls deutlich von den anderen Schichten durch das Häutchen, das sie äusserlich bedeckt, das beim Epithel der äusseren Schicht nicht selten vorkommt.

Eine solche Missbildung kann noch einen Beweis geben dafür, dass die erste Schicht die beiden anderen bildet. Denn die Röhre ist aus den Zellen der ersten Schicht entstanden. In Wirklichkeit stellen sich die Verhältnisse wahrscheinlich noch viel mannigfaltiger, daher werden auch unsere vier Zellenbildungen jedesmal anders combinirt.

Das Zahlenverhältniss der Zellen der ersten zu der dritten Schicht ist hier sehr klein. Im Inneren der geschlossenen Röhre sieht man Fetzen, aber keine deutlich abgestossenen Zellen. Die Abstossung also muss sehr gering sein. Die Zellen vermehren sich jedoch, denn die Theilungsfiguren

sind vorhanden. Der ganze Zuwachs der Zellen muss also nach dem Bindegewebe hingehen.

Die elektrischen Reizungen bewirken umgekehrt einen sehr grossen Zuwachs der Zellen der dritten Schicht, so dass das Zahlenverhältniss in beiden Schichten fast gleich 1 wird. Hier also muss der Reproductionsprocess entgegengesetzt sein wie im ersten Falle.

Dort werden wenig Kugeln gebildet, aber viel Pigmentzellen; hier viele rothe Kugeln und wenig Pigmentzellen.

Ebenso gestaltet sich der Process bei Degeneration des Schwanzes der Froschlarve. Die Pigmentbildung dabei hat schon Dr. Barfurth beobachtet, und ich kann das nur bestätigen.

Wir sehen also, dass die vier Modi zerfallen in je zwei entgegengesetzte Processe; einerseits Zelltheilung und endogene Zellbildung, andererseits: a) Schichtenbildung, Abstossung der Zellen, b) Pigmentbildung. In normalen Verhältnissen sind diese zwei antagonistischen Vorgänge im Gleichgewicht. Das Gleichgewicht ist gestört in den letzteren drei Fällen. Diese Störung ist aber, wie wir sehen, nur auf die Erhaltung des Organismus gerichtet, als Reaction auf Reize, als Anpassung an besondere Bedingungen oder als normal-physiologischer Process.

Nun aber ist sehr leicht denkbar, dass diese Störung des Gleichgewichts unzweckmässig für den Organismus — pathologisch — sein kann.

Es ist gewiss unzulässig, aus den Vorgängen im Epithel der Froschlarve ohne Weiteres auf die Physiologie des Epithels bei den höheren Thieren zu schliessen. Dass aber auch hier dieselben Processe vor sich gehen, wie dort, beweisen die Litteraturerzeugnisse der oben citirten Autoren, die dieselben Gebilde beim Menschen gefunden haben, wie ich bei der Froschlarve.

Erklärung der Abbildungen.

(Taf. I—IV.)

Figg. 1 und **2** (Taf. I) sind Querschnitte des Epithels von der Mitte des Schwanzes.

a = die erste Schicht. Cylinderzellen mit rothen Plasmosomen.
b = die zweite Schicht. Cubische Zellen.
c = die dritte Schicht. Undeutliche Kerne des Plattenepithels.
W = eine leukocytoide Zelle mit dem länglichen Kerne, ohne Protoplasma.
f = ein Kernfortsatz.
Lr = eine leukocytoide Zelle mit dem rundlichen Kerne und etwas Protoplasma mit Pigmentkörnchen.
k = Kittsubstanz mit Querstreifen.

Fig. 2 *A* = eine Epithelzelle im Uebergangsstadium zur zweiten Schicht. Pyramidenform mit der Spitze nach unten, langer Fortsatz nach der Basalmembran. Beide Nachbarzellen sind abgestumpfte Pyramiden.

d = ausgetretener Kerninhalt.

Figg. 3—10 sind Querschnitte der dritten Schicht.

gh = die grossen hellen Kerne der cubischen Zellen der dritten Schicht.
gk = die grauen Kugeln von verschiedener Grösse und in verschiedenen Entwickelungsstadien.

Fig. 5 und 6. Die grauen Kugeln enthalten je ein Plasmosoma und Körnchen der Chromatinsubstanz.

L — sind Wanderzellen.

Figg. 7—10. Die Wanderzellen liegen in der Epithelzelle.

Figg. 14—27, 29 und **30** (Taf. II). Verschiedene leukocytoide Zellen.

Fig. 29. Protoplasmareiche leukocytoide Zellen mit etwas Pigment und mit Ausläufern.

Fig. 15. Eine leukocytoide Zelle, die einer Epithelzelle ganz ähnlich ist.

Fig. 16. Eine leukocytoide Zelle mit farblosen Einschlüssen. *fk* = farblose Kugeln

Figg. 17—19. Das Protoplasma der leukocytoiden Zelle ist in eine Masse von violetten und röthlichen Kugeln zerfallen. Verschiedene Grössen der Kugeln bis zu einer Kerngrösse.

Figg. 21—33 sind leukocytoide Zellen mit rothen und violetten Kugeln im Protoplasma. Die violette Substanz liegt meistens peripher und umgiebt dabei die rothen Kugeln schalenartig.

Fig. 25. Eine eosinophile Epithelzelle ist von der perigenen Zelle umschlossen.

Fig. 26. Eine Wanderzelle innerhalb einer anderen (perigenen) Wanderzelle.

Figg. 27, 28, 30 und 31. Die violetten und rothen Substanzen in Begleitung von Pigment.

Fig. 28. Die Pigmentkörperchen sind in einer Kette geordnet, die als Fortsetzung der Chromatinsubstanz des alten Kernes (*A*) erscheint.

Figg. 34—40 (Taf. III) sind Quer- und Flächenschnitten des elektrisch gereizten Epithels entnommen.

Fig. 34. Querschnitt des Epithels nach einer Stunde Reizung. *F* — Die Frenkel'schen Figuren sind stark vergrössert und von der Basilarmembran abgelöst. Die Zellen der ersten Schicht sind gequollen. Die Kerne sind klein und nach der Peripherie gedrängt.

Fig. 36. Flachschnitt. *F.* — Frenkel'sche Figuren haben fast das ganze Protoplasma der Zelle aufgenommen und sind so zu Kugeln geworden. Manche von ihnen zerfallen in eine Anzahl von kleinen Kugelchen (Fig. 39).

Fig. 48. Neben den grossen rothen Kugeln liegen massenhaft kleine.

Fig. 38. Innerhalb der rothen Kugeln (*F*) entstehen kleine blaue und violette Partikelchen, die allmählich zu Chromatinsubstanz des neuen Kernes werden (Figg. 37, 38 und 40).

Fig. 41. Eine leukocytoide Zelle mit einer violetten Kugel schickt einen langen Kernfortsatz aus der Höhle heraus. Sie verlässt offenbar die Höhle.

Fig. 42. Eine Kerntheilungsfigur der Epithelzelle. Die Zelle *B* geht in die zweite Schicht über, und die Zelle *C* bleibt in der ersten.

Fig. 43 stellt das Durchwandern einer Wanderzelle durch die Membran vor.

Figg. 45 und **46** (Taf. IV). Pigment in den embryonalen Zellen. Das Pigment ist nach aussen vom Epithel abgelagert.

Die Zelle *A* enthält mehr Pigment als die anderen Epithelzellen. Es liegen in ihr noch Reste von Dotterkugeln. Die Zelle A_1 Fig. 46 stellt ein späteres Stadium der Zelle *A* vor. Sie hat sich schon von den benachbarten Zellen losgelöst und schickt Fortsätze zu den anderen Epithelzellen.

Fig. 47. Eine Pigmentzelle im Epithel mit langen Fortsätzen. Sie liegt in einer Höhle. Das Pigment ist körnig, dunkel.

Fig. 48. Eine Pigmentzelle flach an der Basalmembran von der Seite des Bindegewebes liegend.

Fig. 49. Einige sternförmige Pigmentzellen mit hellem krystallinischem Pigment und mit ovalen Kernen auch an der Basalmembran liegend.

Fig. 50. Zerfall eines Epithelkernes in mehrere mit Safranin und Haematoxylin gefärbte Partikelchen, die sich in Fig. 51 stark vergrössern und nach dem Bindegewebe gehen.

Beobachtungen über das Athmen unter dem erhöhten Luftdruck.

Von

Dr. G. v. Liebig
in Reichenhall und München.

Zur Vervollständigung meiner früheren vergleichenden Mittheilungen über das physiologische Verhalten des menschlichen Organismus unter dem gewöhnlichen und unter dem erhöhten Luftdrucke gehört auch eine Anzahl von Beobachtungen, welche ich in den Jahren 1867 bis 1873 über die Frequenz und Tiefe der Athmung, die geathmeten Luftmengen, über die Nachwirkung des erhöhten Druckes, sodann über das Verhältniss der Zeitdauer der Ein- und Ausathmung und endlich über den Spielraum der Frequenz und Tiefe der Athmung gemacht habe, die ich aber, mit anderen Arbeiten beschäftigt, bis jetzt noch nicht mittheilen konnte. Diese Beobachtungen bestätigen zum Theile ähnliche, welche schon früher von Anderen gemacht worden waren, zum Theile weichen sie von diesen ab, und führen uns durch ihre Abweichungen auf den Weg, welcher es möglich macht, die Wirkung des erhöhten, sowie auch des verminderten Luftdruckes auf die Athmung von einem einheitlichen Gesichtspunkte zu betrachten. Ich beginne mit einer Anzahl von zum Theil schon 1868, hauptsächlich aber 1870 und 1872 gemachten Bestimmungen über die Zeitverhältnisse der Ein- und Ausathmung und schliesse mit einigen später ausgeführten Beobachtungen über das Einströmen von Luft durch feine Oeffnungen in eine sich ausdehnende elastische Blase. Diese letzte Arbeit, welche dazu beiträgt, die Erleichterung der Einathmung unter dem erhöhten Luftdrucke zu erklären, wurde an das Ende gesetzt, weil sie an früherer Stelle den Zusammenhang gestört haben würde.

Zeitverhältnisse der Ein- und Ausathmung. — v. Vivenot giebt mit Bezug auf die Veränderung dieser Verhältnisse auf S. 250 seines

Buches über „*Die physiologischen und therapeutischen Wirkungen der verdichteten Luft*“ (Erlangen 1868) an, dass die Einathmung unter dem erhöhten Luftdrucke leichter stattfinde, während die Ausathmung mühsamer und langsamer erfolge, als unter normalem Luftdrucke. Er sagt, dass das Verhältniss zwischen der Dauer der Inspiration und der Dauer der Exspiration unter dem normalen Luftdrucke wie 4:5 oder wie 10:12·5, unter dem erhöhten Luftdrucke verändert werde, indem es in der verdichteten Luft der pneumatischen Kammer wie 4:6 bis 4:11, das ist wie 10:15 bis 10:27·5 sich gestalte.

v. Vierordt unterscheidet unter dem gewöhnlichen Luftdrucke je nach dem Verhältniss der Einathmung zur Ausathmung träge und schnelle Athemzüge. Wenn man die Dauer der Einathmung immer = 10 setzt, so ist die Dauer der Ausathmung bei den trägen Athemzügen = 14, und sie nimmt zu bis 24 bei den schnellen Athemzügen. Diese beiden Bezeichnungen deuten also das Verhältniss zwischen der Ein- und Ausathmung an. Träge sind die Athemzüge bei dem normalen ruhigen Athmen, und so wie sie schneller werden, nimmt die Einathmung eine verhältnissmässig kürzere, die Ausathmung eine längere Dauer an.

Schneller werden die Athemzüge immer dann, wenn sie an Tiefe abnehmen, wobei gewöhnlich die Frequenz zunimmt. Bei den weniger tiefen Athemzügen nimmt die Einathmung eine kleinere Zeit in Anspruch, ihre Dauer ist also abgekürzt. Die Ausathmung erfolgt aber bei diesen verhältnissmässig langsamer, weil die elastische Spannung der bei der Einathmung ausgedehnten Theile, vermöge welcher diese sich bei der Ausathmung wieder zusammenziehen, bei kurzen und weniger tiefen Athemzügen zu geringerer Stärke anwächst als bei tieferen, daher auch die Zusammenziehung verhältnissmässig langsamer vor sich geht.

In Uebereinstimmung hiermit werden wir in der Folge sehen, dass unter beiden Luftdrucken in dem Verhältniss $10:n$, worin 10 für die Einathmung, n für die Dauer der Ausathmung steht, die Zahl n in der Regel zunimmt, wenn die Zeitdauer der Einathmung abnimmt, und umgekehrt, dass also die kürzerem Athemzüge schneller und die tieferen träger sind.

Vergleichen wir nun die Athmung unter dem gewöhnlichen Luftdruck mit der Athmung unter dem erhöhten, so werden in der verdichteten Luft die Athemzüge bei jeder Tiefe durchschnittlich schneller, als bei der entsprechenden Tiefe unter dem gewöhnlichen Drucke, indem die durchschnittliche Dauer der Einathmung ab-, die der Ausathmung aber in noch stärkerem Verhältnisse zunimmt. Die Frequenz ist nun aber dabei nicht vermehrt, wie gewöhnlich bei dem schnelleren Athmen, sondern sie wird geringer, als sie unter dem gewöhnlichen Luftdrucke gewesen war.

Die Zeitbestimmungen, welche ich hier mittheilen will, wurden bei Gelegenheit der Athmungen vorgenommen, welche ich 1870 und 1872 zur Bestimmung des Sauerstoffes der Lungenluft machen liess. Die Athmungen geschahen mit Hülfe von Wasserventilen durch eine Gasuhr, wie es Lossen in der *Zeitschrift für Biologie* 1868 beschrieben hat. Jede einzelne Athmung dauerte genau 15 Minuten, und es wurden an jedem Tage Morgens zwischen 10 und 12 Uhr hintereinander drei Athmungen gemacht.

Die Zeitbestimmungen für die Ein- und Ausathmung geschahen im mittleren Dritttheile der Versuchszeit, während von der Zeit des ersten und letzten Dritttheiles jedesmal 4, im Ganzen also 8 Minuten auf die Zählung der Athemfrequenz verwandt wurden. Aus den Frequenzen berechnete ich dann die mittlere Dauer eines Athemzuges und der gefundene Werth diente zur Controle für den Werth der mittleren Dauer, welcher aus den Zeitbestimmungen der Ein- und Ausathmung abgeleitet worden war. Die letzteren wurden nur dann zu weiteren Folgerungen benutzt, wenn die Abweichung der aus ihnen abgeleiteten mittleren Dauer der ganzen Athemzüge von dem aus den Frequenzen erhaltenen Werthe nur unbedeutend war.

Der Beginn und das Ende der Ein- und Ausathmung wurden durch das Geräusch der durch die Wasserventile ein- und austretenden Luft angezeigt und der Zeitraum wurde danach vermittelst der Beobachtung einer Secundenuhr bestimmt, welche einen grossen Secundenzeiger besass, so dass man $^1/_4$ Secunden schätzen konnte. Da die Bestimmungen sowohl im Anfange als in der Mitte und am Ende eines ganzen Athemzuges auf Schätzungen innerhalb $^1/_4$ Secunde beruhten, so ist diese Methode unseren jetzigen Begriffen von Genauigkeit nicht ganz entsprechend, allein sie war damals die einzig mögliche und ich hatte durch vorhergehende Bestimmungen einige Uebung erlangt, so dass die durchschnittlichen Ergebnisse brauchbar erschienen. Ihre häufig sehr nahe Uebereinstimmung mit der aus den Frequenzen berechneten Dauer eines ganzen Athemzuges beweisen sowohl die verhältnissmässige Sicherheit der Bestimmungen, als auch die im Ganzen grosse Regelmässigkeit der Athmung während eines Versuches.

Als Versuchsperson diente 1870 Hr. J. Mack, damals noch Mitbesitzer der pneumatischen Kammer, und 1873 Hausmann, der als Diener bei dem Betriebe beschäftigt war.

Hr. Mack, der 1870 30 Jahre alt war, hatte schon 1867 und 1868 häufig als Versuchsperson in der pneumatischen Kammer gedient, und ich hatte schon 1868 im Laufe der Versuche einige Zeitbestimmungen seiner Ein- und Ausathmung gemacht. Da diese aber begonnen worden waren, nachdem seine Athmung schon durch die Wirkung des Luftdruckes stark

verändert war, so war das eigenthümliche Verhalten der Athmung unter dem erhöhten Luftdrucke weniger deutlich hervortretend, obgleich im Ganzen dasselbe Ergebniss gefunden wurde, wie im October 1870. Ich übergehe deshalb jene Bestimmungen und bringe nur die letzteren, welche in den folgenden Tabellen zusammengestellt sind. Hr. Mack war im October 1870 nahezu zwei Jahre nicht unter dem Einflusse des erhöhten Luftdruckes gewesen, aber trotzdem war seine Athemfrequenz in Folge der Nachwirkung der früheren Sitzungen eine sehr geringe, 14 Athemzüge in 3 Minuten, und er war gerade deshalb wegen der längeren Dauer seiner Athemzüge für die Zeitbestimmungen besonders geeignet. Die Athmungen wurden in der Reihenfolge angestellt, dass zuerst zwei Tage unter dem gewöhnlichen, dann vier Tage unter dem um 30 und 32 cm Quecksilber erhöhten Luftdrucke geathmet wurde, worauf vier Tage unter dem gewöhnlichen Luftdrucke folgten. Die Ergebnisse dieser letzten vier Tage gestatten wegen der starken Nachwirkung keinen reinen Vergleich mehr.

In den folgenden Tabellen gebe ich nur mittlere Werthe. Die Summen aus den Bestimmungen der einzelnen Tage finden sich in den Beilagen am Schlusse dieses Aufsatzes, S. 87 bis 90.

Unter dem gewöhnlichen Luftdrucke am 17. und 18. Oct. erhielt ich 32 Bestimmungen.
„ „ erhöhten „ „ 19. bis 22. „ „ „ 43 „
„ „ gewöhnlichen „ „ 28. bis 31. „ „ „ 77 „

An den beiden ersten Tagen unter dem gewöhnlichen Luftdrucke wechselte die Dauer der Einathmung zwischen 4 und 5 Secunden, an den vier Tagen des hohen Druckes zwischen 3 und 6 Secunden. Wenn ich die procentische Berechnung mache, so war das Verhältniss der Zahl der Athemzüge mit einer Dauer der Einathmung von 4 Secunden und weniger, zu den Athemzügen mit längerer Dauer der Einathmung Folgendes:

	gew. Druck vorher.	erh. Druck.	gew. Druck nachher.
4 Secunden und darunter	53	74	50
Mehr als 4 Secunden	47	26	50
	100	100	100

und es wurden also unter dem erhöhten Luftdrucke durchschnittlich viel mehr Athemzüge mit kürzerer Dauer der Einathmung gemacht, als unter dem gewöhnlichen Drucke. Die Zeitdauer der Ausathmung ist aber länger, wie aus der folgenden Zusammenstellung hervorgeht, welcher ich auch die durchschnittliche Tiefe der Athemzüge beifüge. Diese ist aus der in 15 Minuten ausgeathmeten Luft, welche bei 35° C. mit Wasserdampf gesättigt angenommen wurde, und den beobachteten Frequenzen berechnet.

I. Gewöhnlicher Luftdruck, 17. und 18. October.

1 Zahl der Beobachtungen	2	3 (17)	4 (15)	5	6 Durchschn.	7 Aus Frequ.	8 Tiefe Liter
Einathmung in Secunden		4·0	5·0		4·5		
Ausathmung in Secunden		8·4	9·1		8·7		1·49
Dauer des Athemzuges, Sec.		12·4	14·1		13·2	12·9	
Einathm. : Ausathm. = 10:		21·1	18·2		19·6		

II. Erhöhter Luftdruck, 19. bis 22. October.

Zahl der Beobachtungen	(6)	(26)	(9)	(2)			
Einathmung in Secunden	3·0	4·0	5·0	6·0	4·2		1·59
Ausathmung in Secunden	9·5	11·6	11·8	16·0	11·5		
Dauer des Athemzuges, Sec.	12·5	15·6	16·8	22·0	15·7	15·5	
Einathm. : Ausathm. = 10:	31·6	29·0	23·4	26·7	27·7		

Die nahe Uebereinstimmung der Werthe für die Dauer eines ganzen Athemzuges im 6. und 7. Stabe ist befriedigend, die unbedeutende Abweichung der aus der Ein- und Ausathmung bestimmten Dauer von der aus den Frequenzen erhaltenen ist unter beiden Luftdrucken positiv, sie beträgt unter dem gew. Luftdrucke 0·3 Sec., unter dem erh. 0·2 Sec., und vertheilt sich zu gleichen Theilen auf die Einathmung, wie auf die Ausathmung.

Vergleichen wir die Durchschnittswerthe für die Einathmung und für die Ausathmung, so ist die Einathmung im Durchschnitte etwas verkürzt, die Ausathmung ist dagegen in viel stärkerem Maasse verlängert, so dass der ganze Athemzug unter dem erhöhten Drucke eine längere Dauer besitzt. Das Verhältniss der Einathmung zur Ausathmung ist im Durchschnitte wie 10:27·7, also gleich dem höchsten von v. Vivenot angegebenen Werthe, was erklärlich ist, da der Werth dieses Verhältnisses, im gewöhnlichen Drucke schon 10:19·6, also höher als gewöhnlich gewesen war. Die etwas grössere durchschnittliche Tiefe des Athemzuges unter dem erhöhten Luftdrucke hat auf diese Veränderungen offenbar keinen maassgebenden Einfluss, da trotzdem die Einathmung verkürzt ist.

Dieselbe Veränderung wie in den Durchschnittswerthen finden wir in den einzelnen Werthen für die Ausathmung unter den nach der Dauer der Einathmung geordneten Athemzügen Stab 2—5, indem das Verhältniss der Ausathmung unter dem erhöhten Luftdruck überall stark zugenommen hat.

Bei den Athmungen vom 28. bis 31. Oct., welche den Athmungen unter dem erhöhten Luftdrucke nachfolgten, waren die Athemzüge, besonders an den beiden ersten Tagen in Folge der Nachwirkung nicht unbedeutend grösser, als unter dem erhöhten Luftdrucke, wodurch die durchschnittliche Dauer des ganzen Athemzuges abermals etwas, obgleich nur sehr wenig, verlängert wurde. Die Ursache für dieses Verhalten werden wir später kennen lernen.

Hier bei dem Uebergange vom erhöhten zum gewöhnlichen Luftdrucke vertheilt sich aber die durchschnittliche Verlängerung in ganz anderer Weise, wie vorher bei dem Uebergang zu dem erhöhten Luftdrucke.

Hier nehmen beide Stufen der Athemzüge an Dauer zu, die vorher abgekürzte Einathmung aber in weit stärkerem Verhältnisse als die Ausathmung. Das durchschnittliche Verhältniss der Dauer der Einathmung zur Dauer der Ausathmung nähert sich daher wieder etwas mehr dem früheren, wie es unter dem gewöhnlichen Luftdrucke gewesen war, und die Athemzüge werden wieder etwas weniger schnell, als unter dem erhöhten Luftdrucke.

Von den 77 Beobachtungen dieser Athmungen waren nur 68 benützbar, weil 9, welche der I. und II. Athmung am 31. Oct. angehörten, in der Dauer des ganzen Athemzuges allzuweit von dem Ergebnisse aus den Frequenzen bei diesen Athmungen abwichen.

III. Gewöhnlicher Druck, 28. bis 31. October.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Zahl der Beobachtungen	(6)	(28)	(2)	(26)	(6)	Durchschn.	Aus Frequ.	Tiefe. Liter
Dauer der Einathmung, Sec.	3·0	4·0	4·5	5·0	6·0	4·5		
Dauer der Ausathmung, Sec.	10·1	11·5	12·0	11·8	13·0	11·6		1·75
Dauer des Athemzuges, Sec.	13·1	15·5	16·5	16·8	19·0	16·1	16·0	
Einathm.: Ausathm. = 10:	33·7	28·6	26·7	23·6	21·7	26·0		

Die Herabsetzung der durchschnittlichen Verhältnisszahl n für die Ausathmung (Stab 7) gegen die unter dem erhöhten Luftdrucke gefundene, wird hauptsächlich veranlasst durch die wieder länger werdende Dauer der Einathmung.

Es wurde im Eingange darauf hingedeutet, dass die Athmung um so schneller sei, je kürzer die Einathmung, und damit stimmen die Verhältnisszahlen in jeder letzten Reihe der beiden vorigen Tabellen I und II, wie auch mit besonderer Regelmässigkeit in dieser Tabelle III überein, indem die Zahl n des Verhältnisses $10:n$ bei der kürzesten Dauer der

Einathmung im Stabe 2 am grössten ist, und mit zunehmender Länge der Einathmungszeit immer kleiner wird.

Die Abweichung, welche die Zahl 26·7 in Tab. II Stab 5 von dieser Regel zeigt, indem diese Zahl etwas grösser ist, als die vorhergehende, kann nicht maassgebend sein, weil die Zahl aus nur zwei Beobachtungen abgeleitet ist.

Die zweite Versuchsperson war Hausmann, 39 Jahre alt, Diener bei der pneumatischen Kammer. Er hatte vorher nicht unter dem erhöhten Luftdrucke geathmet und war auch dessen Einfluss weniger leicht zugänglich, so dass eine Nachwirkung nach den wenigen Sitzungen nicht zu bemerken war. Er athmete frequenter als Hr. Mack, und die Abweichung der Bestimmungen von der aus den Frequenzen abgeleiteten Dauer des Athemzuges, von etwa derselben Grösse wie bei Mack, bildet wegen der sehr kurzen Dauer der Athemzüge hier einen verhältnissmässig grösseren Fehler. Hausmann hatte im November 1872 unter dem gewöhnlichen Luftdrucke an fünf Tagen 15 Athmungen, unter dem um 32 cm Quecksilber erhöhten an vier Tagen 12 Athmungen gemacht, wobei, wie bei Mack die Frequenzen in der Regel 8 Minuten lang gezählt wurden. Von den ersteren gaben die Sitzungen am 15., 16., 17., 18. Nov. 83 Bestimmungen, die Sitzung am 28. Nov. gab 29 Bestimmungen; von den letzteren gaben die Sitzungen am 22., 23. Nov. 58, die Sitzung am 26. Nov. 13 Bestimmungen. Von diesen werden die Athmungen am 26. und am 28. Nov. besonders betrachtet werden, weil sie unter beiden Drucken mit Vierordt's „schnellen" Athemzügen gemacht worden waren.

Weil eine Nachwirkung nicht eintrat, wurde hier ein Unterschied zwischen den Athmungen unter dem gewöhnlichen Drucke vor und nach der Einathmung des erhöhten Luftdruckes nicht gemacht.

Eine procentische Berechnung aus sämmtlichen Beobachtungen ergab eine Dauer der Einathmung.

	Im gew. Druck	Im erh. Druck
Vom 1·5 Secunden oder weniger	84	100
Von mehr als 1·5 Secunden	16	—
	100	100

Die Dauer des ganzen Athemzuges, aus allen Einzelbeobachtungen und aus den Frequenzen berechnet war folgende:

	Gewöhnlicher Druck		Erhöhter Druck	
	Aus Beobacht.	Aus Frequ.	Aus Beobacht.	Aus Frequ.
Einathmung in Secunden	1·48		1·40	
Ausathmung in Secunden	2·34		2·75	
Dauer der Athmung, Sec.	3·82	3·63	4·15	3·80

Für eine schärfere Vergleichung fallen von den Bestimmungen bei den Athmungen des 15. bis 18. Nov. die am 15. Nov. gemachten aus, weil

die betreffende Athmung noch etwas gezwungen war, und auch die dritte Athmung am 18. Nov. konnte nicht benützt werden, weil die Dauer der Athemzüge von der aus den Frequenzen bestimmten Dauer stärker abwich; es blieben somit von 83 Bestimmungen nur 67 verwerthbar.

Unter dem erhöhten Luftdruck konnten aus demselben Grunde die dritten Athmungen am 22. und 23. Nov. nicht benützt werden, und dadurch blieben von den 58 Bestimmungen nur 35 verwendbar. Am 25. Nov. wurde die Dauer der ganzen Athemzüge gezählt und die Athmungen dieses Tages zählen daher nicht mit.

Die folgenden Tabellen geben die Beobachtungen in derselben Anordnung wie bei Mack.

I. Gewöhnlicher Luftdruck, 16. bis 18. November.

1 Zahl der Beobachtungen	2 (3)	3 (4)	4 (49)	5 (11)	6 Durchschn.	7 Aus Frequ.	8 Tiefe Liter
Dauer der Einathmung, Sec.	1·00	1·25	1·50	2·00	1·54		
Dauer der Ausathmung, Sec.	1·66	2·12	2·21	2·70	2·26		0·56
Dauer des Athemzuges, Sec.	2·66	2·37	3·71	4·70	3·80	3·74	
Einathm.: Ausathm. = 10:	16·6	17·0	14·7	13·5	14·7		

Unter dem gewöhnlichen Luftdrucke entspricht das Verhältniss der Einathmung zur Ausathmung im Durchschnitt nahezu dem von Vierordt für das Athmen aufgestellten, wie 10:14, es ist 10:14·7 Stab 6.

II. Erhöhter Luftdruck, 22. und 23. November.

1 Zahl der Beobachtungen	2	3 (2)	4 (33)	5	6 Durchschn.	7 Aus Frequ.	8 Tiefe Liter
Dauer der Einathmung, Sec.		1·25	1·50		1·48		
Dauer der Ausathmung, Sec.		2·50	2·67		2·66		0·52
Dauer des Athemzuges, Sec.		3·75	4·17		4·14	3·85	
Einathm.: Ausathm. = 10:		20·0	17·8		18·0		

Bei Hausmann ist, wie bei Mack, die Ausathmung unter dem erhöhten Luftdrucke im Durchschnitt sowohl, wie bei den verschiedenen Einathmungen bestimmter Dauer, jedesmal etwas verlängert, während die Einathmung im Durchschnitte abgekürzt, aber der ganze Athemzug verlängert erscheint.

Die mittlere Tiefe oder Grösse eines Athemzuges unter dem erhöhten Luftdrucke, 0·52 Liter, erscheint hier etwas kleiner, als sie unter dem gewöhnlichen Drucke (0·56 Liter) gewesen war, allein trotzdem sehen wir, dass der Athemzug verlängert ist. Bei Mack hatten wir den Athemzug auch mit der verkürzten Einathmungszeit grösser gefunden.

Eine Beziehung zwischen der Dauer der Einathmung und der Grösse des Athemzuges lässt sich hier nicht festhalten, da die Abweichung von 0·29 Secunden in der durchschnittlichen Dauer des ganzen Athemzuges von dem aus den Frequenzen abgeleiteten Werthe einen Fehler vorstellt, der gross genug wäre, um bei der kurzen Dauer der Einathmung eine wesentliche Verschiebung der Verhältnisse zu veranlassen. Wollten wir versuchsweise eine Correctur des Fehlers anstreben, so würde der Betrag der Abweichung, welche unter jedem Drucke positiv ist, zur Hälfte von der Einathmung und zur Hälfte von der Ausathmung abzuziehen sein. Die Dauer der Einathmung würde somit unter dem gewöhnlichen Luftdrucke, bei einer Abweichung von 0·06 Sec., von 1·54 Sec. auf 1·51 Sec. vermindert werden, unter dem erhöhten Luftdrucke von 1·48 Sec. auf 1·34 Sec. Auf diese Werthe bezogen entspräche der Grösse der Athemzüge von 0·56 Liter unter dem gewöhnlichen Luftdrucke eine Grösse von 0·50 Liter unter dem erhöhten, und der Athemzug wäre also auch hier unter dem erhöhten Luftdruck mit 0.52 Liter etwas grösser, als es dem Verhältnisse der Dauer der Einathmung entsprechen würde, immer vorausgesetzt, dass diese in der Hauptsache für die Tiefe des Athemzuges maassgebend wäre.

Ich lege dieser Correctur keinen Werth bei, und habe sie nur ausgeführt, um zu zeigen, wie gross hier der Einfluss des Fehlers sein kann, wenn das Verhältniss der Einathmung allein betrachtet wird. Zwischen Ein- und Ausathmung hat er weniger zu bedeuten, weil er beide zu gleichen Theilen trifft, und er hindert uns daher nicht, das veränderte Verhältniss zwischen Ein- und Ausathmung festzustellen, während die Verlängerung des ganzen Athemzuges ausserdem noch durch die Bestimmung aus den Frequenzen bestätigt wird.

Für die Unterscheidung der Athemweisen in beiden Luftdrucken kommt, wie wir später sehen werden, die Grösse des Athemzuges nicht immer in Betracht.

Die Athmungen am 26. und 28. Nov. waren unter beiden Drucken schneller, weil in beiden die Dauer der Einathmung im Vergleiche mit vorhergehenden Athmungen des gleichen Druckes abgenommen, die Dauer der Ausathmung zugenommen hatte. Das Verhältniss zwischen Ein- und Ausathmung hatte sich unter dem gewöhnlichen Drucke von 10:14·7 auf 10:19·7 und unter dem erhöhten von 10:18 auf 10:28·6 geändert. Auch die Tiefe der Athemzüge war bei den abgekürzten Einathmungen am 26.

und 28. Nov. durchschnittlich geringer, als an den früheren Versuchstagen, so wie es bei dem schnellen Athmen in der Regel der Fall ist.

Vergleicht man die Athmungen vom 26. und 28. Nov. miteinander, so zeigen sich dieselben Unterschiede zwischen den Athemreihen der beiden Drucke, wie wir sie bereits kennen gelernt haben. Die Fehler haben hier unter den beiden Drucken nahezu die gleiche Grösse und ändern also die Verhältnisse nicht wesentlich.

III. Gewöhnlicher Luftdruck, 28. November.

1	2	3	4	5	6	7
Zahl der Beobachtungen	(14)	(7)	(8)	Durchschn.	Aus Frequ.	Tiefe Liter
Dauer der Einathmung, Sec.	1·00	1·25	1·5	1·20		
Dauer der Ausathmung, Sec.	2·12	2·53	2·62	2·36		0·46
Ganzer Athemzug, Sec.	3·12	3·78	4·12	3·56	3·36	
Einathm. : Ausathm. = 10:	21·2	20·4	17·5	19·7		

IV. Erhöhter Luftdruck, 26. November.

Zahl der Beobachtungen	(13)					
Dauer der Einathmung, Sec.	1·00			1·00		
Dauer der Ausathmung, Sec.	2·86			2·86		0·48
Ganzer Athemzug, Sec.	3·86			3·86	3·69	
Einathm. : Ausathm. = 10:	28·6			28·6		

Unter dem erhöhten Luftdrucke ist, wie vorher, die Dauer der Einathmung etwas verkürzt, die Ausathmung verlängert, und diese Verlängerung überwiegt so stark, dass der ganze Athemzug etwas länger dauert. Hier sind die Athemzüge bei der kürzeren Einathmung wieder tiefer, als unter dem gewöhnlichen Luftdrucke, ebenso wie bei Mack.

Bei den Athmungen Hausmann's finden wir wieder unter beiden Luftdrucken, dass im Allgemeinen die Athemzüge „schneller" werden, wenn die Einathmung kürzer wird, indem dann in dem Verhältnisse $10:n$ die Zahl n für die Ausathmung zunimmt. Nur im zweiten Stabe der I. Versuchsreihe finden wir eine Abweichung von diesem Gesetze, die aber nicht massgebend ist, weil sie aus nur sehr wenigen Beobachtungen hervorgeht.

Die Ergebnisse, welche wir bei unseren beiden Versuchspersonen erhalten haben, bestätigen die Angaben v. Vivenot's, dass unter dem erhöhten Luftdrucke die Einathmung erleichtert und die Ausathmung verlangsamt werde. Die Erleichterung der Einathmung erkennen wir an unseren Beobachtungen in ihrer durchschnittlichen Abkürzung, während

der durchschnittliche Inhalt des Athemzuges bei Mack dabei sogar noch etwas zunimmt. Wir werden später sehen, dass in allen längeren Athemreihen bei Mack der Inhalt der Athemzüge unter dem erhöhten Luftdrucke durchschnittlich etwas grösser ist, wie unter dem gewöhnlichen, während er bei Hausmann sich nicht ändert. Auch auf die Ursache welche die Einathmung erleichtert und die Ausathmung verlängert werden wir später noch zurückkommen.

Frequenz und Grösse der Athemzüge, geathmete Luftmengen, Nachwirkung. Die aus den Beobachtungen des vorigen Abschnittes hervorgehende Verlängerung der Ausathmung unter dem erhöhten Luftdrucke bedingt eine Abnahme der Frequenz der Athemzüge, so wie sie in der grössten Mehrzahl der Fälle von Aerzten und anderen Beobachtern gefunden wurde. v. Vivenot fand an sich und an anderen in der Regel neben der Abnahme der Frequenz eine Zunahme der Grösse oder Tiefe des Athemzuges (wir werden später zwischen diesen beiden Bezeichnungen einen Unterschied machen), wobei er sich des Thorakometers als Maassstab bediente, einer Scala, die zwischem dem Ende eines um dem Brustkorb gelegten Bandes in geeigneter Weise angebracht war. Seine Beobachtungen wurden bald darauf von Panum mit Hülfe einer anderen Methode bestätigt. v. Vivenot fand ausserdem mit Bezug auf die Frequenz der Athemzüge eine starke Nachwirkung, deren Grösse am besten durch die Wiedergabe einiger seiner Bestimmungen angedeutet wird. Er hatte im Laufe einer Reihe von Sitzungen, welche er zwischen dem 31. Mai und 23. September 1864 in der pneumatischen Kammer zu Johannisberg genommen hatte, tägliche Zählungen seiner Frequenz vor, in und nach jeder Sitzung angestellt, und hatte hernach aus den Beobachtungen, welche er vor jeder Sitzung genommen hatte, die 10tägigen Mittel gebildet. Vor dem Beginne der Sitzungen hatte die Frequenz 16 bis 20 Athemzüge betragen, und sie nahm in der Folge ab, so wie es aus der folgenden abgekürzten Tabelle zu ersehen ist, in welcher ich die Ordnung der 10tägigen Abschnitte jedesmal mit einer lateinischen Ziffer bezeichne.

I.	Frequenz	14·2
II.	„	11·5
IV.	„	7·5
VIII.	„	4·8
später	„	4·2.

Unter dem erhöhten Luftdrucke waren die Frequenzen immer noch etwas geringer, als unter dem gewöhnlichen.

Von der 80. Sitzung an schwankte die Frequenz zwischen 4·5 und 4 und nahm nicht weiter ab. Noch nach fünf Monaten betrug die Frequenz

nicht mehr als 4—5 Athemzüge, und sie war nach zwei Jahren nicht höher als auf 10—12 Athemzüge wieder gestiegen.

Meine eigenen Beobachtungen hatten an zwei Personen ähnliche Ergebnisse, an einer dritten, Hausmann, fand ich, allerdings nach nur kurzer Einwirkung des erhöhten Luftdruckes, keine Nachwirkung.

Ich zählte die Frequenz bei den Athmungen, welche, wie schon angegeben, mit Hülfe von Wasserventilen durch eine bei jeder Versuchsreihe von neuem geaichte Gasuhr gemacht wurden, wobei abwechselnd einige Tage unter dem gewöhnlichen und dann unter dem erhöhten, und zuletzt wieder unter dem gewöhnlichen Luftdrucke geathmet wurde.

In den ersten Jahren, 1867 bis 1869, dienten die Athmungen zur Bestimmung der ausgeathmeten Kohlensäure, von 1870 an zur Bestimmung des aufgenommenen Sauerstoffes. Bei den ersteren wurde während der Dauer des Versuches eine Bestimmung der in der eingeathmeten Luft des Zimmers oder der pneumatischen Kammer enthaltenen Kohlensäure vorbereitet und dadurch, sowie durch die häufigen Ablesungen der verschiedenen Thermo- und Hygrometer wurde die Zeit der Beobachtung so beschränkt, dass nur drei Minuten um die Mitte der Versuchsdauer auf die Zählung der Frequenz verwendet werden konnten.

Da die Athemzüge, wie aus den Mittheilungen des vorigen Abschnittes hervorgeht, im Ganzen sehr regelmässig waren, so wäre diese Zählzeit für manche Zwecke schon ausreichend, allein sicherer geht man für die Bestimmung der durchschnittlichen Frequenz, wenn man das Mittel aus mehreren Athmungen ableitet, so wie es in den folgenden Tabellen geschehen ist.

Bei den Athmungen von 1870 an konnten, wie schon angegeben, die Athemzüge 8 Minuten lang, je 4 in dem ersten und letzten Dritttheile der Versuchszeit gezählt werden, 1873 12 Minuten.

Die Tageszeit der Versuche war 1867 von 4—6 Uhr Nachmittags oder in der 4—6 Stunde nach dem Mittagsmahle der Versuchsperson, von 1868 an immer zwischen 10 und 12 Uhr Vormittags.

Nicht jede Person fand ich brauchbar für die Athmungen, weil bei einigen die Aufmerksamkeit auf das Athmen gerichtet war, wodurch die Athmung beeinflusst wurde. Von sechs Personen blieben nur drei, bei welchen die Athmung von Anfang an unbefangen war. Sie beschäftigten sich gewöhnlich mit Lesen gleichgiltigen Inhaltes.

In den folgenden Tabellen gebe ich die Athmungen des Hrn. J. Mack von 1867—1870. Er zählte im Beginne der Versuche 26 Jahre, war gesund und kräftig, seine Grösse war $1{\cdot}64^{m}$, sein Gewicht $67{\cdot}1^{kgrm}$, und seine Athemcapacität betrug im Anfange etwa 3200^{ccm}, nahm aber allmählich zu bis auf 3500^{ccm}.

Die erste Versuchsreihe vom 2. — 6. März 1867 wurde nicht in die Tabelle eingestellt, weil bei dieser eine bestimmte Zahl von Athemzügen in der Minute eingehalten worden war, wobei übertrieben grosse Luftmengen gefördert wurden. Damals ergab sich die auffallende Thatsache, dass Hr. Mack unter dem erhöhten Luftdrucke 8 Athemzüge in der Minute nicht machen konnte, weil er damit nicht fertig wurde, ohne die Bauchpresse zu Hülfe zu nehmen, während ihm vorher unter dem gewöhnlichen Luftdrucke diese Zahl bequem gewesen war. Die Zahl wurde deshalb auf 6 herabgesetzt, aber immer noch waren die Luftmengen oft ungewöhnlich grosse. Bei den darauf folgenden Athmungen wurden Frequenz und Tiefe dem natürlichen Bedürfnisse überlassen und nun wurde die Grösse der ausgeathmeten Luftmengen im Ganzen eine sehr gleichmässige.

Von den Athmungen vom 28. bis 31. Oct. 1870 unter gewöhnlichem Luftdrucke wurden nur die der beiden letzten Tage, des 30. und 31. Oct., in die Tabelle eingestellt, weil die Athmungen der beiden ersten Tage noch stark von der Nachwirkung der vorhergehenden Sitzungen unter dem erhöhten Luftdrucke beeinflusst waren.

Es wurden an jedem Tage drei Athmungen von je $^1/_4$ Stunde Dauer unter demselben Luftdrucke hinter einander ausgeführt, mit Ausnahme des 1., 7. und 8. März 1867, an welchen Tagen jedesmal zuerst eine Athmung unter dem gewöhnlichen, und die folgenden unter dem erhöhten Luftdrucke gemacht worden waren. Am 22. März 1867 wurden ausnahmsweise nach drei Athmungen unter dem erhöhten Luftdrucke, noch eine vierte unter dem gewöhnlichen Luftdrucke vorgenommen.

Die Ergebnisse der einzelnen Athmungen sind in den Beilagen am Schlusse dieses Aufsatzes für jeden Tag unter I, II, III zusammengestellt, in der folgenden Tabelle sind, mit Ausnahme des 1. März 1867, die Mittel in der Regel aus sechs, bisweilen aus mehr Athmungen an auf einander folgenden Tagen gegeben. Die Höhe des angewandten Ueberdruckes betrug in der Regel 32 ^{cm} Quecksilber, in zwei Versuchsreihen wurde aber der Ueberdruck auf 40 und 50 ^{cm} erhöht, was in der Tabelle an den betreffenden Stellen bemerkt ist. Die Tabelle giebt ausserdem die Versuchstage, die Zahl der Athmungen, die mittleren Frequenzen und die mittlere Grösse der ausgeathmeten Luftmengen, die letzteren mit Beibehaltung des zur Zeit der Versuche herrschenden Luftdruckes, aber mit Ausschluss des in der Athemluft enthaltenen Wasserdampfes, auf 0° C. berechnet.

Für die Berechnung wurde angenommen, dass die ausgeathmeten Luftmengen bei der Temperatur der Gasuhr, welche, sowie auch die Temperaturen des Hygrometers, viermal während des Versuches in gleichen Zeitabständen genommen wurden, mit Wasserdampf gesättigt gewesen seien.

In den Zwischenzeiten seiner Athmungen war Hr. Mack häufig noch als Assistent bei den Athmungen anderer Personen oder bei anderen Versuchen in der Kammer thätig, er war also viel öfter der Einwirkung des erhöhten Luftdruckes ausgesetzt, als man aus der Tabelle schliessen könnte, der längste Zeitraum, welchen er ohne Beschäftigung in der Kammer zubrachte, lag zwischen dem December 1868 und October 1870.

Tabelle I.

I. Gewöhnlicher Luftdruck				II. Erhöhter Luftdruck				
Versuchstage	Zahl der Athm.	Frequ. in 3 Min.	Luftmenge in 15 Min. Liter	Versuchstage	Zahl der Athm.	Frequ. in 3 Min.	Luftmenge in 15 Min. Liter	Ueberdruck Cm.
März 1867.				März 1867.				
1.	1	28·0	—	1.	1	22·5	—	32
7.,8.,10. 11.	8	22·0	89·5	7., 8., 9.	7	19·1	83·8	32
18., 19., 22.	7	18·6	88·2	20., 21., 22.	9	17·4	86·7	32
Jan. 1868.				Jan. 1868.				
20., 22.	6	16·4	81·9	23., 25.	6	13·7	82·1	40
27., 28.	6	16·0	80·6	29., 30.	6	13·1	76·7	50
Febr. 1868.				Febr. 1868.				
17., 18.	6	14·6	86·3	19., 20.	6	14·1	88·9	40
26., 27.	6	14·1	86·0	21., 22.	6	13·7	86·0	50
Oct. 1870.				Oct. 1870.				
17., 18.	6	14·0	88·4	19., 20.	6	11·9	76·9	30
30., 31.	6	11·7	80·4	21., 22.	6	11·3	80·2	32
	Mittel	17·3	85·2		Mittel	15·2	82·7	

Man bemerkt, dass unter den beiden Drucken die Frequenz abnimmt, dass sie aber unter dem erhöhten Luftdrucke immer noch etwas kleiner ist, als unter dem gewöhnlichen. Die ausgeathmeten Luftmengen sind unter dem erhöhten Luftdrucke im Durchschnitte 82·7 Liter, etwas kleiner, als unter dem gewöhnlichen mit 85·2 Liter, unter jedem Luftdrucke für sich sind ihre Schwankungen unbedeutend, sie bewegen sich unter dem gewöhnlichen Luftdrucke zwischen 80 und 90 Liter, unter dem erhöhten zwischen 76 und 89 Liter. Da die Frequenzen im Laufe der Versuche abnahmen, die ausgeathmeten Luftmengen aber unter jedem Drucke um ihr Mittel auf- und abschwankten, so musste die Tiefe oder Grösse der Athemzüge zunehmen, sie betrug in der ersten Versuchsreihe vom 7. bis 11. März 1867 unter dem gewöhnlichen Drucke durchschnittlich 0·81, unter dem erhöhten 0·88 Liter, und in der letzten vom 21.—31. October 1870

unter dem gewöhnlichen Drucke 1·37, unter dem erhöhten 1·41 Liter, und war unter dem erhöhten Drucke immer etwas grösser, als unter dem gewöhnlichen;[1] im Durchschnitt betrug der Unterschied 0·1 Liter.

Wenn wir die Athmungen vom März 1867 bis Ende Februar 1868, welche durch geringere Zwischenzeiten unterbrochen sind, genauer vergleichen, so finden wir, dass die Unterschiede zwischen den Frequenzen unter den beiden Luftdrucken anfangs grösser sind, dass sie aber fortwährend abnehmen, bis Ende Februar die Athmung unter den beiden Drucken fast gleich geworden ist, so aber, dass unter dem erhöhten Drucke die Frequenz immer noch etwas kleiner bleibt. Dies wiederholt sich bei den Athmungen von 1870.

Die Ergebnisse bei Mack waren also genau die gleichen, wie sie v. Vivenot gefunden hatte, bei dem sich die Annäherung der Athmung unter den beiden Drucken, so wie auch der bleibende kleine Unterschied in der Frequenz ebenfalls deutlich ausprägt; dasselbe Ergebniss hatte er auch mit Bezug auf die Vergrösserung der Athemcapacität gehabt.

Auch die Athmungen einer zweiten Versuchsperson, des Hrn. Krämer, Gehülfen in der Mack'schen Apotheke, von denen eine Reihe schon im V. Bde. der *Zeitschrift für Biologie* veröffentlicht wurden, stimmen hiermit überein. Dieser war zur Zeit der Versuche 18 Jahre alt, 1·73 ^{m} gross und wog 65·7 Kilo, seine Athemcapacität war 3250 ^{ccm}. Die Athmungen wurden in der ersten Versuchsreihe im Nov. und Dec. 1868 je 3, in der zweiten Versuchsreihe im Dec. 1869 je 6—9 Minuten hindurch gezählt. Die Athmungen vom 17. und 18. Dec. 1869 unter dem erhöhten Luftdrucke wurden nicht in die Tabelle eingestellt, weil er damals wegen einer Zahngeschwulst rascher athmete. An den beiden folgenden Tagen, dem 21. und 22. December wurde er in den letzten Minuten der Versuchsdauer häufig schläfrig, wodurch die Athmung etwas beschleunigt wurde, die Zählungen der Frequenz sind aber immer vor dieser Zeit gemacht. Der Ueberdruck war 32 ^{cm} Quecksilber. (Siehe die Tabelle auf S. 56.)

Auch bei Krämer finden wir eine Veränderung der Frequenz und eine ziemlich gleichbleibende Menge der ausgeathmeten Luft unter jedem Drucke, welche unter dem erhöhten etwas geringer war, als unter dem gewöhnlichen. Nimmt man die Athmungen von 1869 allein, so erscheint die unter dem erhöhten Luftdrucke durchschnittlich ausgeathmete Luftmenge um 1·5 Liter grösser, allein wenn man die Luftmengen auf die Temperatur der ausgeathmeten Luft berechnet und diese mit Wasser-

[1] Auf 35° C., die Temperatur der ausgeathmeten Luft und auf Sättigung der Luft mit Feuchtigkeit berechnet, kommen diese Werthe im October 1870 einander noch etwas näher, es bleibt aber noch ein Unterschied von 0·02 L.

Tabelle II.

Gewöhnlicher Luftdruck				Erhöhter Luftdruck			
Versuchstage	Zahl der Athm.	Frequenz in 3 Minuten	Luftmenge in 15 Minuten Liter	Versuchstage	Zahl der Athm.	Frequenz in 3 Minuten	Luftmenge in 15 Minuten Liter
Nov. 1868.				Nov. 1868.			
25., 26.	6	30·0	101·4	27., 28.	6	21·5	100·0
Dec. 1868.				Dec. 1868.			
3., 4.	6	20·3	90·2	30., 1.	6	20·6	92·6
Dec. 1869.				Dec. 1869.			
15., 16,	6	22·3	98·4	17., 18.	6	—	—
23., 24.	6	20·3	102·9	21., 22.	6	20·1	91·8
	Mittel	23·2	98·2		Mittel	21·1	94·8

dampf gesättigt annimmt, dann überwiegt die Menge unter dem gewöhnlichen Luftdrucke um etwa eben so viel. Auch bei Hrn. Krämer nimmt die Tiefe der Athemzüge unter jedem Drucke zu.

Die beiden Versuchspersonen, deren Ergebnisse ich hierher mitgetheilt habe, waren Tiefathmer, d. h. sie verbanden mit einer geringen, vor der Einwirkung des erhöhten Luftdruckes unter der Zahl von 15 Athemzügen stehenden Frequenz eine grössere Tiefe der Athemzüge, welche 500 ccm überschritt, selbst wenn wie hier die Menge der ausgeathmeten Luft auf 0° und frei von Wasserdampf berechnet wurde. Die Lungen dieser Personen gaben der Wirkung des Luftdruckes leicht nach, indem sie nach wenigen Sitzungen schon eine Nachwirkung erkennen liessen. Ganz anders verhielt sich Hausmann, den ich einen Kurzathmer nennen möchte, seine mittlere Frequenz war 16·5 und die mittlere Grösse seiner Athemzüge 425 ccm. Gewöhnlich beaufsichtigte er die Hahnstellung an der pneumatischen Kammer, und war noch ausserdem im Betriebe der Anstalt beschäftigt. Bis zum Beginne seiner Athmungen, Nov. 1872, war er noch nicht unter dem erhöhten Luftdrucke gewesen. Damals war er 39 Jahre alt, 1·71 m gross, wog 59 Kilo und hatte eine Lungencapacität von nahezu 4000 ccm.

Hausmann athmete zweimal, vom 15. — 28. Nov. 1872 und vom 16. — 25. Mai 1873, in der ersten Athemreihe wurden die Athemzüge in der Regel 8 Minuten, in der zweiten 12 Minuten hindurch gezählt. In der folgenden Tabelle sind die geathmeten Luftmengen in derselben Weise berechnet, wie bei Mack und bei Krämer. Der Ueberdruck war 32 cm Quecksilberhöhe.

Tabelle III.

Gewöhnlicher Luftdruck				Erhöhter Luftdruck			
Versuchstage	Zahl der Athm.	Frequenz in 1 Minute	Luftmenge in 15 Minuten Liter	Versuchstage	Zahl der Athm.	Frequenz in 1 Minute	Luftmenge in 15 Minuten Liter
Nov. 1872.				Nov. 1872.			
15., 16.	6	15·5	113·7	22., 23.	6	15·6	101·9
17., 18.	6	16·7	113·5	25., 26.	6	15·9	98·1
28.	3	17·8	102·7	—			
Mai 1873.				Mai 1873.			
16., 17.	6	16·0	95·8	19., 20.	6	16·0	103·4
18.	3	14·5	97·3	21., 22.	6	15·4	103·4
23., 24.	6	18·2	104·0				
Mittel aus allen einzelnen Athmungen		16·5	105·4			15·8	101·8

Wir haben 30 Athmungen auf Seite des gewöhnlichen, 24 auf der Seite des erhöhten Luftdruckes. Mit den früheren Beobachtungen ist nur darin eine Uebereinstimmung zu erkennen, dass in jedem der beiden Jahre die mittlere Frequenz unter dem erhöhten Drucke etwas geringer ist:

	gewöhnl. Druck.	erh. Druck.
1872	16·4	15·8
1873	16·6	15·7

und dass im Durchschnitte der beiden Jahre die ausgeathmeten Luftmengen unter dem erhöhten Drucke kleiner sind. Die Grösse der Athemzüge war im Durchschnitt nach unserer bisherigen Berechnung unter dem gewöhnlichen Druck 425 ccm, unter dem erhöhten 430 ccm, also fast gleich, mit einem kleinen Mehrbetrag unter dem erhöhten Luftdrucke, allein wenn man die ausgeathmeten Luftmengen auf die Temperatur der Ausathmungsluft bei ihrem Austritt aus der Lunge 35° C. und feucht berechnet, so kehrt sich dieser Unterschied um, die Grösse der Athemzüge ist dann unter dem gewöhnlichen Drucke 509, unter dem erhöhten Drucke 504 ccm. In keinem der beiden Jahre ist eine Nachwirkung auf die Abnahme der Frequenz oder eine Vergrösserung der Athemzüge zu bemerken.

Das verschiedene Verhalten Hausmann's unter dem erhöhten Luftdrucke, bezüglich der Vergrösserung der Athemzüge und des Mangels einer Nachwirkung zeigt, dass dessen Organismus gegen die Erhöhung des Luftdruckes viel weniger nachgiebig war, als der Organismus der beiden anderen Versuchspersonen.

Ein noch höherer Druck oder eine häufiger wiederholte Einwirkung desselben würde bei ihm ohne Zweifel ähnliche Folgen gehabt haben, wie

bei jenen, denn wir werden aus der später zu betrachtenden Beschränkung des Spielraumes seiner Athmung erkennen, dass der erhöhte Luftdruck im Uebrigen die Athmung bei Hausmann in derselben Weise beeinflusste, wie bei Mack und bei Krämer.

Erweiterte Lungenstellung. Die Beschränkung des Spielraumes des Athemthätigkeit steht in enger Beziehung zu der unter dem erhöhten Luftdrucke eintretenden Erweiterung der mittleren Lungenstellung, welche v. Vivenot durch Bestimmung des Standes der Leber, durch Auscultation und Percussion des Herzens und durch Messung des Umfanges des Brustkorbes erschliessen konnte, welche aber durch Panum später auch auf directem Wege nachgewiesen wurde. In einem schönen Versuche (Pflüger's Archiv I. 125 ff.) zeigte dieser, dass unter dem erhöhten Luftdrucke bei ruhigem Athmen die mittlere Ausathmungsstellung der Lungen erweitert ist, indem die Lungen stärker mit Luft gefüllt sind, als unter dem gewöhnlichen Luftdrucke. Die erweiterte Lungenstellung bezeichnet er mit Rücksicht auf die Art und Weise, wie sich die Sache bei seinen Versuchen darstellte, mit dem Ausdrucke „Erhöhung der mittleren Athemlage." Zur Bestimmung der Athemlage bediente sich Panum eines geaichten Spirometers, aus welchem er durch ein Mundstück einathmen, und in welches hinein er ausathmen liess, gross genug, dass die Athmung kurze Zeit in normaler Weise fortgesetzt werden konnte. Ein am Spirometer oben angebrachter Schreibstift zeichnete bei dem Auf- und Absteigen desselben die Curven der Athemzüge auf eine Trommel, und die höchsten und niedersten Punkte der Curven gaben die Aenderungen des Lungeninhaltes bei der Ein- und Ausathmung in Cubikcentimetern. Die mittlere Lage zwischen diesen Punkten nannte er die mittlere Athemlage.

Panum bestimmte nun weiter den Abstand dieser Lage auf der Trommel, sowohl von der Linie, welche das Spirometer bei einer stärksten, mit Hülfe der Bauchpresse ausgeführten Ausathmung, als auch von der Linie, welche es bei einer tiefsten Einathmung zeichnete, und diese Abstände gaben ihm den Unterschied des Lungeninhaltes der mittleren Athemlage von dem Inhalte der Lungen bei diesen beiden äussersten Stellungen. Zu diesen Bestimmungen waren zwei Versuche nöthig. In dem einen wurde dem beweglichen Cylinder des Spirometers zuerst eine hohe Stellung gegeben, die sich durch eine gerade Linie auf der Trommel aufzeichnete. Dann wurde die Athmung von der Stellung der stärksten Zusammenziehung der Lungen ausgehend, mit einer Einathmung begonnen und kurze Zeit fortgesetzt, um die mittlere Athemlage zu erhalten, deren Abstand von der zuerst gezeichneten Linie nun den Inhalt der Lunge zwischen ihrer Stellung in der mittleren Athemlage und ihrer Stellung bei der stärksten Zusammen-

ziehung ergab. In dem anderen Versuche wurde der Cylinder zuerst tief gestellt und die Athmung wurde, ausgehend von einer tiefsten Einathmung bei der stärksten Ausdehnung der Lunge, mit einer Ausathmung angefangen. Die in diesen beiden Versuchen erhaltenen Abstände der mittleren Athemlage, einerseits von der Anfangslinie der stärksten Zusammenziehung, andererseits von der Anfangslinie der weitesten Ausdehnung, gaben die Unterschiede des Lungeninhaltes bei der mittleren Athemlage von dem Inhalte bei diesen beiden äussersten Stellungen, und die Summe der Unterschiede musste nun annähernd der direct bestimmten Grösse der vitalen Athemcapacität gleich kommen. Diese Versuche wurden zuerst unter dem gewöhnlichen und dann unter dem erhöhten Luftdrucke ausgeführt.

Indem ich von den Ergebnissen diejenigen weglasse, welche Panum an sich selbst erhielt, weil seine Athmung durch die Wirkung des erhöhten Luftdruckes schon stark verändert war, auf die ich aber später zurückkommen werde, gebe ich nur die von zwei anderen Versuchspersonen *J* und *B*, welche zum ersten Male unter dem erhöhten Luftdrucke athmeten.

Bei diesen Beiden trat unter dem erhöhten Luftdrucke eine Aenderung der mittleren Athemlage hervor, indem diese dem Inhalte der weitesten Lungenstellung näher rückte und von dem Inhalte der stärksten Zusammenziehung sich entfernte. Die vorher genommenen vitalen Athemcapacitäten hatten bei *J* 3350 ccm, bei *B* 4415 ccm ergeben.

Es betrug nun der Abstand der mittleren Athemlage in Cubikcentimetern von der Stellung

	I. der stärksten Zusammenziehung	II. der weitesten Ausdehnung	Summe von I + II
Bei *J*[1] im erhöhten Luftdruck	1841 ccm	1405 ccm	3244 ccm
„ „ „ gewöhnl. „	1345 „	1781 „	3126 „
Unterschied im erhöhten Luftdruck	+ 496 „	— 376 „	
Bei *B* im erhöhten Luftdruck	1935 „	2383 „	4368 „
„ „ „ gewöhnl. „	1718 „	2870 „	4588 „
Unterschied im erhöhten Luftdruck	+ 217 „	— 487 „	

Die Summen von I und II stimmen bei beiden Personen nahe mit der vorher genommenen Capacität zusammen, und die kleinen Abweichungen,

[1] Für *J* nehme ich im Versuche I die Ergebnisse der zweiten Bestimmung in der pneumatischen Kammer, denn bei der ersten war der Versuch I unvollständig, wie aus dem grossen Abstande der bei der ersten Bestimmung sich ergebenden vitalen Capacität von der wirklichen hervorging.

welche bei jeder Versuchsperson die Summen untereinander zeigen, sind von unwesentlicher Grösse, so dass die Brauchbarkeit der Bestimmungen der Hauptsache nach sicher steht.

Bei *J* war also im Versuche I der Inhalt der mittleren Athemlage um 496 ccm, im Versuche II um 376 ccm grösser, als unter dem gewöhnlichen Luftdrucke. Bei *B* betrug der Unterschied in derselben Richtung im Versuche I 217 ccm, im Versuche II 487 ccm. Um diese Grössen hatte sich der Inhalt der mittleren Athemlage von dem Inhalte der stärksten Zusammenziehung weiter entfernt und war dem Inhalte bei der weitesten Ausdehnung näher gerückt, als unter dem gewöhnlichen Luftdrucke, die mittlere Lungenstellung war also um so viel erweitert.

Die Erweiterung der mittleren Lungenstellung kann unter dem erhöhten Luftdrucke auf zweierlei Weise entstehen, entweder dadurch, dass die Stellung der Lunge am Ende der Ausathmung eine weitere bleibt, und in diesem Falle könnten die Athemzüge die gleiche durchschnittliche Tiefe unter beiden Luftdrücken beibehalten, oder sie kann auch dadurch entstehen, dass nur die Athemzüge grösser werden, wobei die Stellung der Lunge am Ende der Ausdehnung jedesmal in die Lage zurückkehren könnte, welche sie unter dem gewöhnlichen Luftdrucke eingenommen hatte. Endlich können beide Veränderungen zusammen vorkommen.

Bei v. Vivenot war neben den tieferen Athemzügen, die Erweiterung der Lungenstellung auch nach einer stärkeren Ausathmung, durch den tieferen Stand der Leber nachgewiesen worden. Panum, der ebenfalls unter dem erhöhten Luftdrucke eine Vergrösserung der Athemzüge gefunden hatte, hatte diesen Nachweis nicht geliefert, allein wir können aus seinen Ergebnissen den Schluss ziehen, dass auch bei seinen Versuchspersonen die Ausathmungsstellung erweitert war.

Dies ergiebt sich daraus, dass die Athemzüge seiner Versuchspersonen, wenn ihre Vergrösserung unter dem erhöhten Luftdrucke die einzige Ursache der veränderten Athemlage gewesen wäre, einen Umfang hätte annehmen müssen, wie er so gross nach so kurzer Einwirkung des erhöhten Luftdruckes nicht beobachtet wird. Setzen wir den Fall, dass die Erhöhung der Athemlage durch die Vergrösserung der Athemzüge allein bewirkt worden sei, so ergiebt eine nähere Betrachtung der Verhältnisse, dass die Grösse, um welche die Athemlage in jedem Versuche erhöht gefunden wurde, genau die Hälfte der durchschnittlichen Vergrösserung eines normalen Athemzuges ausmachen würde.

Bei den Versuchen I und II waren die Unterschiede der Athemlage jedesmal von verschiedener Grösse, und da jeder Unterschied immer die Hälfte der durchschnittlichen Vergrösserung der Athemzüge angeben soll, so würde die Summe der unter I und II gefundenen Unterschiede einen

mittleren Werth für die ganze durchschnittliche Vergrösserung eines Athemzuges darstellen. Diese hätte bei *J* 496 + 376 = 872 ccm, bei *B* 217 + 487 = 704 ccm betragen. Fügen wir ihn der von Panum bei vorhergehenden Versuchen ermittelten durchschnittlichen Grösse eines gewöhnlichen Athemzuges dieser Personen hinzu, so hätten wir, da diese bei *J* 611 ccm, bei *B* 446 ccm betrug, für die Athemzüge unter dem erhöhten Luftdrucke bei *J* die Grösse von 1488 ccm, bei *B* von 1105 ccm. Derartige Grössen sind in der That weder von Panum, noch von mir nach so kurzer Einwirkung des Luftdruckes als mittlere, oder selbst als äusserste Werthe beobachtet worden.

Es ist demnach in hohem Grade unwahrscheinlich, dass bei den Versuchspersonen Panum's eine Grössenzunahme der Athemzüge die einzige Ursache der erweiterten Lungenstellung gewesen sein sollte, und wir können annehmen, dass auch bei ihnen die Erweiterung der Ausathmungsstellung den grössten Antheil an der Erhöhung der Athemlage besitze. Dass dies auch Panum's Ansicht war, ist mir wahrscheinlich, weil er der tieferen Athemzüge bei diesen Versuchen als Ursache nicht besonders erwähnt, was er ohne Zweifel gethan haben würde, wenn diese auffallend in den Curven hervorgetreten wären. Er braucht vielmehr den Ausdruck, dass man unter dem erhöhten Luftdruck mit „stärker gefüllten Lungen" athme, was auf eine in der Ausathmungsstellung vorhandene Erweiterung der Lungen hinweist, und er sucht mit v. Vivenot die Ursache der Erweiterung in der Verminderung des Umfanges der Darmgase unter dem erhöhten Luftdrucke, welche in der That eine Erweiterung der Ausathmungsstellung bewirken muss.

Verminderung des Umfanges der Darmgase. Wenn der Luftdruck, unter dem wir uns befinden, erhöht wird, so überträgt sich die Druckerhöhung durch die mehr oder weniger nachgiebigen Weichtheile des Körpers auch auf die freien in den Körperhöhlen befindlichen Gase. Diese erfüllen dann einen kleineren Raum und der durch die Verkleinerung ihres Umfanges frei gewordene Raum wird durch die umgebenden Weichtheile ausgefüllt, welche, im Verhältniss ihrer Nachgiebigkeit gegen den Luftdruck, zusammenrücken. So werden die Bauchdecken abgeflacht und das Zwerchfell tritt tiefer herab, wenn die Darmgase durch den Luftdruck zusammengedrückt werden. Die stärkste Raumverminderung an den die Gase umgebenden Oberflächen wird an der Seite stattfinden, welche dem Luftdrucke den geringsten Widerstand bietet, und so wird von der Bauchseite aus ein verhältnissmässig grösserer Theil des frei werdenden Raumes ausgefüllt werden, als von dem Zwerchfell aus, weil von dieser Seite auch noch die elastische Spannung der Lungen dem Luftdrucke entgegenwirkt.

P. Bert, welcher das Verhältniss der Betheiligung des Zwerchfelles an Hunden zu bestimmen versuchte, fand bei einem Versuche,[1] dass etwa ein Dritttheil des frei werdenden Raumes vom Zwerchfell ausgefüllt werde. Nehmen wir an, dass das gleiche Verhältniss bei dem Menschen obwalte, so würden bei dem von Panum angewandten Ueberdrucke von 35 cm Quecksilber, Darmgase welche vorher den Raum eines Liters einnahmen, unter dem erhöhten Luftdrucke den Raum von 700 ccm ausgefüllt haben, so dass also ein Raum von 300 ccm frei geworden wäre. Von diesen wären 200 durch die Abflachung der Bauchdecken ausgefüllt worden, und 100 durch Herabtreten des Zwerchfelles. Um 100 ccm würde also der Rauminhalt der Lungen erweitert worden sein und diese Erweiterung würde sowohl in der Einathmungsstellung als auch in der Ausathmungsstellung vorhanden gewesen sein.

Die Wirkung des Luftdruckes. Eine Erklärung der Wirkung des Luftdruckes auf die Athmung müsste alle bis hierher beobachteten Veränderungen der Athemweise umfassen, also sowohl die Vergrösserung der Lungencapacität, die Erleichterung der Einathmung, die Verminderung der Athemfrequenz und die bei den meisten Personen eintretende Vergrösserung der Athemzüge, als auch die Verzögerung der Ausathmung. Eine Erweiterung der Ausathmungsstellung würde, wenn sie alle Theile der Lungen, und nicht nur die dem Zwerchfelle zunächstliegenden beträfe, hinreichen, die angegebenen Veränderungen zu begründen, mit Ausnahme der Verzögerung der Ausathmung und mit Ausnahme der Verminderung der Frequenz in den Fällen, in welchen die Tiefe der Athemzüge nicht zunimmt. Wir müssen also noch eine andere Ursache suchen, welche, während sie eine Erweiterung der Ausathmungsstellung in allen Theilen der Lunge begünstigt, ausserdem noch die Verzögerung der Ausathmung unter dem erhöhten Luftdrucke und die dadurch bewirkte Abnahme der Frequenz begründen würde. Diese Ursache scheint mir in der unter dem erhöhten Luftdrucke eintretenden Verdichtung der Atmosphaere zu liegen, welche zunächst dem Austritte der Luft aus den feineren Canälen der Lunge bei der Ausathmung einen stärkeren Widerstand entgegengesetzt und ihn verzögert. Die Begründung für das Bestehen dieser Wirkung habe ich in den Versuchen gegeben, welche in der Arbeit „Ein Apparat zur Erklärung der Wirkung des Luftdruckes auf die Athmung“,[2] beschrieben sind. Bei diesen Versuchen betrug die Verzögerung des Ausströmens von Luft aus einer feinen Oeffnung bei einem Ueberdrucke von 30 cm Quecksilber 18% und dieselbe Verzögerung fand ich, als später der Versuch in der pneumatischen Kammer wiederholt

[1] *La Pression barométrique.* Paris 1878. Vers. 339. p. 834.
[2] *Dies Archiv.* 1879.

wurde. Etwa ebenso viel hatte auch die Verlängerung der Ausathmung bei Mack unter dem erhöhten Luftdrucke betragen.

Wir werden sehen, dass sich alle übrigen Erscheinungen aus dieser Verzögerung ableiten lassen.

Wenn man ruhig und ohne Zuhilfenahme der Bauchpresse athmet, so wird die Ausathmung nur durch die Kraft der elastischen Spannung der bei der Einathmung ausgedehnten Theile bewirkt, sie ist ein mechanischer Vorgang, dessen Geschwindigkeit bei gleichbleibender Kraft durch die Grösse des entgegenstehenden Widerstandes der Atmosphaere geregelt werden muss. Die Zusammenziehung der Lungen erfolgt bekanntlich mit abnehmender Spannung und deshalb abnehmender Geschwindigkeit, welche unmerklich zu werden beginnt, wenn der Widerstand der Luft der elastischen Kraft nahezu gleichkommt. Der Augenblick, in welchem dies eintritt, geht der neuen Einathmung unmittelbar vorher, wie man bei dem Athmen durch Wasserventile an dem gegen das Ende der Ausathmung immer langsamer werdenden Austritt von Luftblasen leicht erkennt.

Dieser Zeitpunkt muss unter dem erhöhten Luftdrucke wegen des stärkeren Widerstandes der dichteren Luft schon bei einer weniger stark zusammengezogenen Stellung der Lunge eintreten, als unter dem gewöhnlichen oder einem geringeren Luftdrucke, und so kommt es, dass die Ausathmung mit einer erweiterten Lungenstellung schliesst. Ein anderer Umstand, der dazu beiträgt, dass die vollständige Zusammenziehung der Lunge auf die frühere Ausathmungsstellung nicht abgewartet wird, ist der, dass wegen der längeren Dauer der Ausathmung die in der Lunge enthaltene Luft denjenigen Grad der Sättigung mit Kohlensäure, der in der Regel dazu beiträgt, eine neue Einathmung auszulösen, auf einer früheren Stufe der Zusammenziehung erreicht.

Wenn nun die Einathmung, von der erweiterten Lungenstellung ausgehend, mit derselben Kraftanwendung beginnt, wie vorher von der engeren aus, so findet die eindringende Luft die feineren Luftcanäle in den Lungen gleich anfangs etwas erweitert, und der Widerstand, den diese dem Eindringen der Luft in die Alveolen darbieten, ist also geringer geworden. Ich werde später zeigen, dass bei Erweiterung capillärer Oeffnungen von der Grösse der feinsten bronchialen Durchmesser die Geschwindigkeit der eindringenden Luft bei Anwendung einer mässigen Kraft im Verhältniss der Erweiterung zunimmt, bei starker Kraftanwendung in noch viel grösserem Verhältnisse, und hiermit hängt ohne Zweifel sowohl die Erleichterung der Einathmung unter dem erhöhten Luftdrucke zusammen, als die Vergrösserung der Athemzüge, da wo sie stattfindet, und auch die Vergrösserung der vitalen Lungencapacität.

Die Vergrösserung der Athemzüge hängt aber auch von der schwächeren oder stärkeren Elasticität der bei der Einathmung ausgedehnten Theile, Lungen, Rippen und Bauchmuskeln ab, und von der Kraft der Athemmuskeln, welche den Widerstand dieser Elasticität zu überwinden hat. Von einer, schon bei Beginn der Einathmung erweiterten Lungenstellung ausgehend, wird der Athemzug für eine gleiche Grösse der ausgeathmeten Luftmenge etwas tiefer werden müssen, d. h. er wird eine etwas stärkere Ausdehnung der Lungen fordern, als wenn er von einer engeren Lungenstellung ausginge, und von dem Verhältnisse der Kraft der Athemmuskeln zu den übrigen Factoren, die dann in Betracht kommen, wird es abhängen, ob der Athemzug noch weiter an Tiefe zunimmt, oder nicht. Die Grösse des Athemzuges wird ferner auch von dem Maasse abhängen, in welchem der Luftzutritt erleichtert ist, und dies kann ebenfalls verschieden sein. Wir dürfen uns daher nicht wundern, wenn in dem einen oder den anderen Falle, wie bei Hausmann, die Erleichterung der Einathmung sich nur in einer durchschnittlich kürzeren Dauer derselben ausdrückt, während eine Vergrösserung der Athemzüge nicht erfolgt. Diese hängt in jedem Falle davon ab, dass die die Einathmung erleichternden Einflüsse diejenigen überwiegen, welche geeignet sind, die weitere Ausdehnung der Lungen zu erschweren.

Beschränkung des Spielraumes der Athmung. Bei unseren Versuchspersonen ist die Erweiterung der Lungenstellung bei der Ausathmung nicht direct nachgewiesen worden, allein die Ergebnisse ihrer Athmungen befähigen uns, den Beweis für die Erweiterung auf indirectem Wege zu führen. Wenn man nämlich aus der Erweiterung der Ausathmungsstellung eine Folgerung zieht, so ergiebt sich aus dem Umstande, dass diese sich der weitesten Einathmungsstellung genähert hat, dass der Spielraum für die Erweiterung der Lungen bei der Einathmung kleiner geworden sein muss. Dies würde bei einer Vergleichung der Athmungen darin zum Ausdrucke kommen, dass sich die Schwankungen in der durchschnittlichen Grösse der Athemzüge unter dem erhöhten Luftdrucke in engeren Grenzen bewegten, als unter dem gewöhnlichen, während die Verlängerung des Athemzuges eine Einschränkung der Grenzen für die Frequenz bewirken müsste. Das gleichzeitige Auftreten einer Beschränkung des Spielraumes für die Grösse und die Frequenz der Athemzüge würde geeignet sein unserer oben aufgestellten Ansicht über die Wirkung des Luftdruckes auf die Athemthätigkeit zur Bestätigung zu dienen.

Für eine derartige Untersuchung war die Zählung der Athemzüge während eines grösseren Abschnittes der Athmung erwünscht, und ich wählte deshalb die Athmungen von Mack 1870, und die von Hausmann

1872 und 1873, bei welchen, wie schon erwähnt, die Athemzüge 1870 und 1872 in der Regel je 8, 1873 je 12 Minuten gezählt worden waren. Um die Grösse der Athemzüge zu erhalten, wurden die Frequenzen auf 15 Minuten berechnet und damit in die in 15 Minuten ausgeathmeten Luftmengen dividirt, wobei, wegen der grossen Regelmässigkeit des Athmens in den einzelnen Athmungen, ein nur unbedeutender Fehler entstehen konnte. Von Mack standen 18 Athmungen unter dem gewöhnlichen, 12 unter dem erhöhten Drucke, von Hausmann 30 unter dem gewöhnlichen und 24 unter dem erhöhten Drucke zur Verfügung, von welchen die Grössen des Inhaltes der Athemzüge und die Frequenzen in der folgenden Tabelle im Sinne der beabsichtigten Untersuchung übersichtlich geordnet sind. Es wurden zum Zwecke der Vergleichung zuerst die Inhaltswerthe der Athemzüge innerhalb der beobachteten Grenzen in bestimmten Abständen oder Stufen aufgestellt, und jeder solchen Stufe gegenüber wurde an den betreffenden Stellen die Zahl der einzelnen Athmungen eingesetzt, bei welchen unter den beiden Luftdrucken entsprechende Grössen des Inhaltes der Athemzüge beobachtet worden waren. Ebenso wurde dann mit Bezug auf die Frequenzen verfahren.

Die ausgeathmeten Luftmengen wurden für diese Tabellen auf die Ausathmungstemperatur, 35°C. und auf die Sättigung mit Feuchtigkeit bei dieser Temperatur berechnet. Bei Mack's Athmungen wurden die in 8 Minuten beobachteten Frequenzen in die Tabellen eingesetzt, bei Hausmann wurden die Frequenzen auf 1 Minute berechnet. Der Stern vor einer Zahl steht immer in dem Zwischenraume, in dessen Bereich das Mittel der Grösse oder der Frequenz der Athemzüge fällt.

I. Vergleichung des Spielraumes der Athmung.

Mack.

Grösse der Athemzüge	Gewöhnlicher Druck	Erhöhter Druck	Frequenz	Gewöhnlicher Druck	Erhöhter Druck
Inhalt der Athemzüge Liter	Zahl der entsprechenden Beobachtungen		Frequenz in 8 Min.	Zahl der entsprechenden Beobachtungen	
1·95	4		27	2	
1·85	3	1	29	6	5
1·75	*4	2	31	*2	*5
1·65	4	*7	33	3	2
1·55	1	—	35	1	
1·45	1	2	37	3	
1·35	1		39	—	
1·25			41	1	
			44		

Hausmann.

Grösse der Athemzüge	Gewöhnlicher Druck	Erhöhter Druck	Frequenz	Gewöhnlicher Druck	Erhöhter Druck
Inhalt der Athemzüge Liter	Zahl der entsprechenden Beobachtungen		Frequenz in 1 Min.	Zahl der entsprechenden Beobachtungen	
0·70	1		13	1	
0·63	1		14	5	
0·61	—		15	8	*15
0·59	2		16	*2	9
0·57	5	2	17	7	
0·55	5	2	18	5	
0·53	1	7	19	2	
0·51	*3	*9	20		
0·49	5	3			
0·47	3	1			
0·45	4				
0·43					

In diesen Tabellen finden wir bei beiden Versuchspersonen die Beschränkung des Spielraumes unter dem erhöhten Luftdrucke deutlich ausgeprägt. Sowohl mit Bezug auf ihre Grösse, als mit Bezug auf ihre Frequenz, stehen unter dem erhöhten Luftdrucke die Athemzüge ihren mittleren Werthen näher, als unter dem gewöhnlichen Drucke. Eine verhältnissmässig grössere Zahl von Athemzügen ist unmittelbar um den Durchschnittswerth gruppirt und stärkere Abweichungen treten nur vereinzelt auf. Unter dem gewöhnlichen Luftdrucke sind kürzere sowohl, als tiefere Athemzüge verhältnissmässig häufiger und grössere Gruppen finden sich zuweilen in grösserer Entfernung auf beiden Seiten des Durchschnittswerthes. Bei Mack bewegt sich unter dem gewöhnlichen Luftdrucke der Inhalt der Athemzüge zwischen 1·25 und 1·95 Liter, unter dem erhöhten zwischen 1·35 und 1·85. Die Frequenzen schwanken unter dem gewöhnlichen Drucke zwischen 37 und 43 Athemzügen in 8 Minuten, unter dem erhöhten zwischen 29 und 35. Bei Hausmann schwankt der Inhalt der Athemzüge unter dem gewöhnlichen Luftdrucke zwischen 0·43 und 0·70 Liter, unter dem erhöhten zwischen 0·45 und 0·57 Liter. Die Frequenzen liegen unter dem gewöhnlichen Luftdrucke zwischen 13 und 20 Athemzügen in der Minute, unter dem erhöhten zwischen 15 und 17.

Das Ergebniss unserer Vergleichung bestätigt also eine Verminderung des Spielraumes für Grösse und Frequenz der Athemzüge, und damit auch den Schluss, aus welchem wir diese Folgerung gezogen hatten. Die Er-

höhung des Luftdruckes übt einen gewissen Zwang auf die Athembewegungen aus, indem sie diese auf Grössen beschränkt, welche von den mittleren weniger abweichen, während sie unter dem gewöhnlichen Luftdrucke dem Bedürfnisse des Augenblickes leichter angepasst werden können.

Geben wir uns Rechenschaft, wie diese Veränderungen entstehen, so beruht die Beschränkung des Spielraumes mit Bezug auf den Inhalt der Athemzüge darauf, dass die flacheren Athemzüge etwas grösser werden, als gewöhnlich, weil die Einathmung erleichtert ist, und dass die tieferen durch die Verminderung des Spielraumes für die Ausdehnung der Lungen erschwert sind. Besonders wird die Grösse des Athemzuges auch dadurch beschränkt werden müssen, dass derjenige Theil desselben wegfällt, der unter dem gewöhnlichen Luftdrucke durch die stärkere Zusammenziehung der Lungen bei der Ausathmung noch ausgestossen wird. Betrachten wir die Frequenz, so wird diese unter dem erhöhten Luftdrucke nicht so gross werden, als unter dem gewöhnlichen, weil ein Athemzug mehr Zeit braucht, und nicht so klein, weil grössere Athemzüge, welche mehr Zeit brauchen, aus dem eben angeführten Grunde weniger häufig auftreten.

Das Beispiel von Mack zeigt, dass in den Fällen, in welchen das Lungengewebe leichter dehnbar ist, und den veränderten Verhältnissen nachgiebt, auch wenn durch die Nachwirkung früheren Gebrauches eine anhaltende Erweiterung der Lungenstellung bereits eingetreten ist, der Unterschied in der Athmung zwischen dem gewöhnlichen und dem erhöhten Luftdrucke immer von neuem wieder hervortritt, nur ist er unter dem Einfluss der Nachwirkung weniger auffallend.

Wechselseitige Beziehungen zwischen Frequenz und Grösse der Athemzüge unter den beiden Luftdrucken. Unsere Beobachtungen bieten noch einen zweiten Weg, um die hier aufgestellte Ansicht über die Wirkung des Luftdruckes auf die Athmung zu prüfen, der sich darauf gründet, dass die mittleren Grössen der Athemzüge unter den beiden Luftdrucken sich nur wenig von einander unterscheiden, und dass die Athmungen im einzelnen sehr regelmässig waren. Wenn der erhöhte Luftdruck die Zusammenziehung der Lungen so stark verlangsamt, dass der ganze Athemzug eine längere Dauer erhält, dann müssten Athemzüge von annähernd derselben Grösse des Inhaltes unter dem gewöhnlichen Luftdrucke sich schneller vollziehen, als unter dem erhöhten Luftdrucke. In der gleichen Zeit könnten also unter dem gewöhnlichen Luftdrucke mehr Athemzüge desselben Inhaltes gemacht werden, als unter dem höheren, und wenn wir solche Athmungen vergleichen, deren Athemzüge einen nahezu gleichen mittleren Inhalt unter den beiden Luftdrucken aufweisen, dann müsste demnach die Frequenz dieser Athmungen unter dem gewöhnlichen Luftdrucke grösser sein, als unter dem erhöhten.

Auf der anderen Seite werden Athmungen, die unter den beiden Luftdrucken gleiche Frequenzen haben, im Durchschnitt einen grösseren Inhalt der Athemzüge unter dem gewöhnlichen Luftdrucke besitzen, als unter dem erhöhten. Denn wäre ihr Inhalt von gleicher Grösse, dann würden sie sich unter dem gewöhnlichen Luftdrucke schneller vollziehen, und ihre Frequenz würde zunehmen, und sie müssen daher einen grösseren Inhalt erhalten, um unter dem gewöhnlichen Luftdrucke die gleiche Frequenz zu erzielen. Um einen grösseren Inhalt zu bekommen, müssen die Athemzüge unter dem gewöhnlichen Luftdrucke nicht nothwendig auch tiefer sein, als unter dem erhöhten; denn, wenn wir zwischen Tiefe und Grösse eines Athemzuges unterscheiden, indem wir mit dem Worte „Tiefe" die Ausdehnung der Lungen oder ihre stärkere Annäherung an die weiteste Stellung bezeichnen, während das Wort „Grösse" sich nur auf den Inhalt bezieht, so kann der letztere auch dadurch zunehmen, dass sich unter dem gewöhnlichen Luftdrucke die Lunge wieder stärker zusammenzieht, während die Tiefe, wie sie unter dem erhöhten Luftdrucke war, ganz oder nahezu beibehalten wird.

Zur Herstellung der folgenden Tabelle habe ich zuerst die Athmungen von annähernd gleichem mittleren Inhalte der Athemzüge in Gruppen zusammengefasst, deren Umfang in den Inhaltsangaben des ersten Stabes angezeigt ist. Diesen Inhaltsangaben gegenüber stehen die bei den betreffenden Gruppen unter den beiden Luftdrucken gefundenen mittleren Frequenzen. Vor jeder Frequenz ist in Klammern die Anzahl der Athmungen angegeben, aus welchen die betreffende Gruppe besteht.

Dann folgen die Athmungen annähernd gleicher Frequenzen, aus welchen ebenfalls unter den beiden Drucken Gruppen gebildet wurden. Von diesen Gruppen wurde der durchschnittliche Inhalt der Athemzüge genommen und den im ersten Stabe geordneten Stufen der Frequenzen an der betreffenden Stelle gegenüber gesetzt. In die Tabelle sind nur solche Gruppen aufgenommen, welche wenigstens zwei Athmungen enthalten.

Auch hier ist die Uebereinstimmung mit unserer Voraussetzung befriedigend. Ueberall wo die Grösse der Athemzüge unter beiden Drucken durchschnittlich annähernd die gleiche ist, wird die Frequenz unter dem gewöhnlichen Drucke grösser, und wo die Frequenz annähernd die gleiche ist, finden wir unter dem gewöhnlichen Drucke die grösseren Athemzüge.

Die Regeln, welche durch die Vergleichung unserer Beobachtungen in diesem und in dem vorigen Abschnitte bestätigt wurden, haben es mir ermöglicht, aus den Athmungen Mermod's[1] zu St. Croix im Schweizer Jura im Vergleiche mit dessen Athmungen zu Strassburg im Elsass den Einfluss

[1] *Sur l'influence de la dépression atmosphérique.* Lausanne 1877; — Das Athmen unter vermindertem Luftdrucke. *Deutsche medicinische Wochenschrift.* 1886. Nr. 19.

II. Athmungen von gleichem Inhalte der Athemzüge.

Mack.					Hausmann.				
Inhalt der Gruppen, Liter. Zwischen	Gewöhnlicher Druck		Erhöhter Druck		Inhalt der Gruppen, Liter. Zwischen	Gewöhnlicher Druck		Erhöhter Druck	
	Frequenz in 8 Min.					Frequenz in 1 Min.			
1·40—1·50	(2)	37·0	(2)	33·5	0·43—0·47	(10)	17·6		
1·55—1·59	(4)	32·2	(4)	31·0	0·48—0·52	(6)	16·8	(19)	15·8
1·64—1·69	(3)	35·0	(5)	30·0	0·53—0·57	(11)	15·6	(4)	15·3
1·74—1·80	(4)	30·0			0·58—0·70	(3)	14·7		
1·85—1·93	(4)	28·5							

III. Athmungen gleicher Frequenzen.

Frequenz in 8 Min.	Inhalt, Liter				Frequenz in 1 Min.	Inhalt, Liter			
27 u. 28	(2)	1·89			13 u. 14	(6)	0·56		
29 u. 30	(6)	1·77	(5)	1·68	15 u. 16	(10)	0·53	(24)	0·50
31 u. 32	(2)	1·72	(5)	1·59	17 u. 19	(14)	0·48		
33 u. 34	(3)	1·57	(2)	1·40					
36 u. 38	(4)	1·56							

des verminderten Luftdruckes in St. Croix in gleicher Weise zu begründen, wie er hier an den Athmungen unter gewöhnlichem Luftdrucke gegenüber dem erhöhten hervortritt, obgleich der Druckunterschied zwischen den beiden Orten nur 8 cm Quecksilber betrug.

Vergrösserung der Athemzüge unter der Nachwirkung. In den Fällen, in welchen nach Einwirkung des erhöhten Luftdruckes eine Nachwirkung auftritt, vermindern sich, wie wir an den Athmungen von Mack und von Krämer gesehen haben, die durchschnittlichen Frequenzen ausserhalb und innerhalb des erhöhten Luftdruckes, und die Grösse der Athemzüge nimmt zu, so dass diese Verhältnisse unter beiden Luftdrucken zuletzt einander sehr nahe kommen. Ganz gleich werden sie aber nicht, denn unter dem erhöhten Luftdrucke wird im Durchschnitte immer noch etwas langsamer und tiefer geathmet.

In den Fällen einer starken Nachwirkung kommt es nun vor, dass Athmungen unter dem gewöhnlichen Luftdrucke, welche den Athmungen unter dem erhöhten Luftdrucke nachfolgen, eine diesen nahezu gleiche Frequenz zeigen, während ihre Athemzüge einen etwas grösseren Inhalt besitzen. Als Beispiel führe ich die Athmungen des Hrn. Mack im October 1870 an, von welchen ich die zweitägigen Durchschnitte ausserhalb

und innerhalb des erhöhten Luftdruckes neben einander stelle. Von den Athmungen, welche den Sitzungen unter dem erhöhten Luftdrucke nachfolgten, lasse ich die des 28. und 29. October weg, weil an diesen beiden Tagen die Athmung aus einem nicht näher ermittelten Grunde, wahrscheinlich nervöse Abspannung, ungewöhnlich träge und tief war; es waren deshalb die Athmungen fortgesetzt worden, um normale Verhältnisse zu bekommen, so wie sie am 30. und 31. October eintraten. Die ausgeathmeten Luftmengen sind hier auf die Temperatur der Ausathmungsluft, 35° C. berechnet und sind mit Wasserdampf gesättigt angenommen.

Gewöhnlicher Druck				Erhöhter Druck			
	Frequ. in 8 Min.	Luftmenge Liter	Inhalt der Athemz. Liter		Frequ. in 8 Min.	Luftmenge Liter	Inhalt der Athemz. Liter
17. u. 18. Oct.	37·5	105·9	1·51	19. u. 20. Oct.	31·6	90·6	1·53
30. u. 31. Oct.	31·3	96·5	1·64	21. u. 22. Oct.	30·3	94·4	1·66
Durchschnitt	34·4	101·2	1·57		31·0	92·5	1·59

Hier finden wir die oben angeführten Sätze bestätigt, die Frequenz nimmt ab, während der Inhalt der Athemzüge zunimmt, die Athemweisen sind zuletzt einander sehr genähert, allein ein kleiner Unterschied in der angegebenen Richtung bleibt bestehen.

Vergleichen wir nun aber die Athmungen vom 30. und 31. October mit dem Durchschnitte der vorhergehenden vier Tage unter dem erhöhten Luftdrucke, so haben wir unter dem gewöhnlichen fast genau die gleiche Frequenz, 31·3, wie unter dem erhöhten, 31·0, dagegen ist der Inhalt der Athemzüge, etwas grösser, 1·64 Liter, fast so gross wie bei den letzten Athmungen unter dem erhöhten Luftdrucke.

Dies stimmt nun mit der weiter oben schon aufgestellten Regel überein, dass bei gleicher Frequenz der Inhalt der Athemzüge unter dem gewöhnlichen Luftdrucke im Allgemeinen etwas grösser wird.

Soll man nun annehmen, dass die Ausdehnung der Lungen für diese Vergrösserung der Athemzüge so stark gewesen sei, wie sie unter dem erhöhten Drucke gewesen sein würde? Ich glaube nicht, denn unter dem gewöhnlichen Luftdrucke bleibt die Athemcapacität auch nach längerem Gebrauche des erhöhten Luftdruckes immer noch etwas geringer, als unter diesem, und die Ausdehnung der Lunge ist also wieder etwas erschwert. Bei einer nahezu mittleren Frequenz wie hier und bei ruhigem Athmen ist mir eine verhältnissmässig so starke Ausdehnung der Lungen unter dem gewöhnlichen Luftdrucke nicht wahrscheinlich.

Vielmehr scheint es, dass zur Vermehrung des Inhaltes der Athemzüge die unter dem gewöhnlichen Luftdrucke wieder stärker werdende Zusammenziehung der Lungen einen Theil beigetragen habe.

In Folge der Nachwirkung bleibt immer eine etwas erweiterte Ausathmungsstellung der Lungen zurück, welche eine bleibende Vertiefung der Athemzüge bewirkt. Diese Erweiterung ist nicht so gross, als sie zuletzt unter dem erhöhten Luftdrucke gewesen war, aber immerhin gross genug, dass die Ausdehnung der Lungen unter dem gewöhnlichen Luftdrucke ihrer Ausdehnung beim Einathmen unter dem erhöhten Luftdrucke sehr nahe kommen kann, umsomehr, als die Gewöhnung an ein tieferes Athmen vorhergegangen ist.

Wir können uns nun die Vermehrung in dem Inhalte des Athemzuges erklären, indem wir annehmen, dass die Tiefe des Athemzuges, oder die Ausdehnung der Lungen unter dem gewöhnlichen Luftdrucke nahezu dieselbe war, wie unter dem erhöhten Luftdruck, so dass der noch bleibende kleine Unterschied in der Tiefe durch die Verstärkung der Zusammenziehung der Lunge bei der Ausdehnung leicht übertroffen werden konnte.

Die stärkere Zusammenziehung war dann gross genug, um den Unterschied der Tiefe auszugleichen und dazu noch die beobachtete durchschnittliche Vergrösserung im Inhalte der Athemzüge zu bewirken. Dass sich die Sache so verhalten könnte, dafür spricht der Umstand, dass die Vergrösserung der Athemzüge des 30. und 31. October, um 50 ^{ccm}, nur unbedeutend deren mittlere Grösse unter dem erhöhten Luftdrucke übertraf.

Die Nachwirkung des erhöhten Luftdruckes. Eine sehr merkwürdige Erscheinung ist es, dass die Abnahme der Frequenz und die damit verbundene Vergrösserung der Lungencapacität und der Athemzüge auf längere Zeit, nachdem die Einwirkung des erhöhten Luftdruckes stattgefunden hat, bis zu einem gewissen Grade erhalten bleibt. Dies beruht auf der ausserordentlichen Nachgiebigkeit und Bildsamkeit des Lungengewebes, welches durch die Wiederholung der durch den Luftdruck bewirkten ausgedehnteren Haltung, die Erweiterung der Lungenstellung schliesslich zwar nicht vollständig, aber doch bis zu einem gewissen Grade beibehält. Die Rückkehr zur ursprünglichen Weite geschieht dann, wie auch bei anderen elastischen Membranen, erst im Verlaufe längerer Zeit, und daher die Nachwirkung.

Eine bleibende Erweiterung der Lungenstellung nach Einwirkung des erhöhten Luftdruckes ergiebt sich auch aus einer Bestimmung der mittleren Athemlage, die Panum an sich selbst machte, aber erst nachdem er schon häufig vorher unter dem erhöhten Luftdrucke geathmet hatte. Die mittlere Athemlage, welche gewöhnlich der Stellung der Lungen in ihrer stärksten

Zusammenziehung etwas näher steht, war im Gegentheile bei ihm schon unter dem gewöhnlichen Luftdrucke der weitesten Einathmungsstellung beträchtlich näher gerückt, sie war eine solche, wie sie bei den übrigen Versuchspersonen erst durch die Einwirkung des erhöhten Luftdruckes herbeigeführt wurde.

Die nachbleibende Erweiterung bedingt ein bleibend tieferes Athmen und damit auch eine geringere Frequenz, weil tiefe Athemzüge mehr Zeit brauchen, als flache.

Auch nach längerem Gebrauche des erhöhten Luftdruckes, wann eine Zunahme der Nachwirkung nicht mehr stattfindet, wird bei erneuter Einwirkung des erhöhten Druckes der Widerstand der verdichteten Luft gegen die Ausathmung sich geltend machen, und daher tritt auch dann noch eine kleine Verminderung der Frequenz und, wie v. Vivenot und Andere beobachtet haben, eine kleine Vergrösserung der Athemcapacität unter der Wirkung des erhöhten Luftdruckes immer wieder auf. Auch bei Panum war nach häufigen Athmungen unter dem erhöhten Drucke die mittlere Athemlage in der pneumatischen Kammer noch etwas höher, als ausserhalb, wenn auch in viel geringerem Grade als bei seinen übrigen Versuchspersonen.

Die Nachwirkung tritt nicht immer sogleich ein, so wie wir es bei Mack und Krämer gesehen haben, und wie es von v. Vivenot und von Panum bei den meisten ihrer Versuchspersonen beobachtet wurde, denn es giebt andere Versuchspersonen, wie z. B. Hausmann, bei welchem ein längerer Gebrauch oder ein höherer Luftdruck dazu nöthig wären. Diese Verschiedenheit der Wirkung hängt offenbar mit einer grösseren oder geringeren Nachgiebigkeit des Lungengewebes zusammen.

Die Erweiterung, welche die Ausathmungsstellung der Lungen im Ganzen unter dem erhöhten Luftdrucke erfährt, lässt keine Nachtheile zurück, denn selbst bei Arbeitern, welche längere Zeit unter nahezu drei Atmosphaeren Ueberdruck beschäftigt waren, wurden nachtheilige Folgen auf die Athmung nicht beobachtet.

Unter anderen Umständen giebt die Nachgiebigkeit des Lungengewebes Veranlassung zu pathologischen Erscheinungen, indem leicht Lungenblähung in einzelnen Abschnitten der Lunge auftritt, wenn deren Zusammenziehung durch örtliche Erschwerung der Ausathmung stärker verzögert wird, so wie dies in Folge von asthmatischen Anfällen und von anderen Krankheitszuständen der Lunge vorkommt.

Es leidet dann auch leicht die Ernährung der betreffenden Abschnitte in Folge der aus der einseitigen Blähung entstehenden Unregelmässigkeiten in der örtlichen Circulation. Selbst die Lungenblähung aber pflegt in vielen Fällen sich schneller oder langsamer zurückzubilden und gerade der

Gebrauch des erhöhten Luftdruckes begünstigt, wie zahlreiche Beispiele lehren, die Rückkehr solcher Stellen zu einem normalen Umfange.

Die Versuchsmethode. Ich habe mir im Laufe dieser Arbeiten die Frage vorgelegt, ob nicht die geringe Erschwerung der Athmung durch Wasserventile einen Einfluss auf die Frequenz und Tiefe der Athmung ausüben könnte, und hatte schon gleich im Anfange meiner Versuche, zum Theil in Rücksicht auf diese Möglichkeit, die Athmungen so geordnet, dass eine Versuchsreihe immer mit Athmungen unter dem gewöhnlichen Luftdrucke begann und endete, während die Athmungen unter dem erhöhten Luftdrucke dazwischen lagen.

In der That ist die Wassersäule von 1—2 ^{cm} so klein, dass sie eine merkliche Behinderung des Athmens nicht hervorbringt, und die Athmenden sind, wenn man die Wassersäule nicht höher werden lässt, im Stande, eine unbegrenzte Zeit ohne alle Beschwerde damit zu athmen. Dies geht um so leichter, weil der Widerstand, welchen die ein- und austretende Luft beim Athmen durch die Nase erfährt, zum Theil wegfällt, wenn, wie bei diesen Versuchen, durch den Mund geathmet wird. Eine Aenderung des Wasserstandes in den Ventilen lässt sich vermeiden, wenn man das Wasser, welches in dem einen Ventile durch Verdunstung bei der Einathmung etwas ab-, im anderen durch Niederschlag bei der Ausathmung allmählich zunimmt, nach einigen Athmungen wieder von Neuem richtet. Krämer schlief sogar bei seiner zweiten Athemreihe öfters ein, ohne durch die Ventile beschwert zu sein.

Mit einem Widerstande gegen die Ausathmung haben alle Versuche zu rechnen, bei welchen man die ausgeathmeten Luftmengen messen will, und das Spirometer bietet wahrscheinlich einen beträchtlicheren Widerstand als das Wasserventil und die Gasuhr. Als eine Wirkung des Widerstandes könnte man es hinstellen, dass ein Ungeübter durch häufige Uebung an dem Spirometer seine Lungencapacität etwas steigern kann, allein diese erreicht bald einen Werth, der sich nicht weiter erhöht. Wenn man dann unter dem erhöhten Luftdrucke athmet, so zeigen die Beobachtungen von J. Lange, R. v. Vivenot und L. Stembo,[1] dass die Wirkung des erhöhten Luftdruckes unabhängig ist von dem Widerstande des Spirometers, indem mit dem steigenden Luftdrucke die Capacität zunimmt, und indem sie mit dem fallenden wieder abnimmt.

Gleichwohl muss man annehmen, dass der Widerstand der Ventile und der Gasuhr gegen die Ausathmung, so gering er auch ist, einen Ein-

[1] Dr. J. Lange, *Ueber die comprimirte Luft, ihre physiologischen Wirkungen und ihre therapeutische Bedeutung.* Göttingen 1864; — Lazar Stembo, *Beiträge zur physiologischen Wirkung der comprimirten Luft.* Inauguraldissertation. Berlin 1877.

fluss auf die Frequenz in dem gleichen Sinne, wie der erhöhte Luftdruck, ausüben kann. Bei den Versuchen ist aber dieser Einfluss, eben so wie der die Einathmung erschwerende des Einathmungsventiles der gleiche ausserhalb wie innerhalb der pneumatischen Kammer, und bei unserer Anordnung der Versuche leidet also die Vergleichbarkeit der Ergebnisse, sowie die Richtigkeit der gezogenen Schlüsse nicht darunter.

Wir sehen, dass trotz der Ventile die Einathmung unter dem erhöhten Luftdrucke abgekürzt wird, und dass bei Mack, auch wenn nahezu Gleichheit der Athmung unter den beiden Drucken eingetreten ist, wie im Februar 1868, in den dem erhöhten Drucke nachfolgenden Athmungen die Frequenz wieder etwas zunimmt.

Dasselbe war bei v. Vivenot der Fall, der nicht durch Ventile athmete, und der auch mit Bezug auf erweiterte Lungenstellung, die Grösse der Athemzüge und auf die Zeitverhältnisse der Ein- und Ausathmung die gleichen Ergebnisse darbot wie Mack; Hausmann dagegen zeigte noch keine Nachwirkung, obgleich er durch Ventile athmete. Diese Beispiele beweisen, dass das Athmen durch Ventile unsere Schlüsse nicht beeinträchtigen kann.

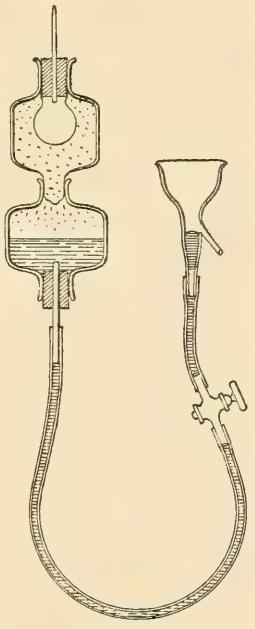
Eine einseitige stärkere Erschwerung der Ausathmung, wobei die Einathmung nicht verändert wird, dürfte aber wahrscheinlich geeignet sein, die Wirkung des erhöhten Luftdruckes zu verstärken, ebenso wie ja auch die Anwendung des Einpumpens von Luft mit den Apparaten von Haucke, von Waldenburg und von Schnitzler, wenn es mit Vorsicht geschieht, bei Zuständen von Beengung eine gewisse Wirkung besitzt.

Ich habe neuerdings einen Apparat in dem angedeuteten Sinne zusammengestellt, mit welchem ich in bestimmten Fällen eine Verstärkung der Wirkung des Luftdruckes zu erzielen hoffe.

Ueber die Erleichterung der Einathmung unter dem erhöhten Luftdrucke. In einem 1880 in diesem Archive veröffentlichten Aufsatze glaubte ich die unter dem erhöhten Luftdrucke beobachtete Erleichterung der Einathmung nach zwei Richtungen hin aus der Wirkung der Druckerhöhung ableiten zu können. Ich nahm an, dass durch stärkeren Druck im Inneren der Lunge die Lungenpleura sich fester an die Rippenpleura anschliessen würde, und dass sie deshalb den Brustwandungen bei ihrer Ausdehnung leichter folgen werde. Denn ein stärkerer Luftdruck würde die Elasticität des Lungengewebes gegenüber dem nahezu leeren, nur mit einer dünnen Schicht von Wasserdampf oder Feuchtigkeit ausgekleideten Pleuraraume leichter überwinden, als ein schwächerer. Sodann legte ich Gewicht darauf, dass die Lungen wegen des stärkeren Widerstandes der dichteren Atmosphaere gegen ihre Zusammenziehung in einer

ausgedehnten Stellung leichter erhalten werden könnten, wodurch die Einathmung eine mittelbare Unterstützung erfahren müsse. Denn wenn wir überlegen, dass die auf die Ausdehnung der Lungen verwendete Kraft in zwei Theile zerlegt werden kann, von denen der eine der zunehmenden Spannkraft der durch den Luftdruck von innen ausgedehnten Lungen auf jeder Stufe der Ausdehnung das Gleichgewicht halten muss, also die Last gleichsam trägt, während der andere Theil auf das weitere Heben der Last verwendet wird, so würde eine Verzögerung, welche der vergrösserte Widerstand der dichteren Atmosphaere der Zusammenziehung der Lunge entgegenstellt, jedenfalls das Tragen der Last erleichtern müssen.

Ein Einwand, den Gad in demselben Bande des Archives gegen meine Aufstellungen machte, obgleich er die Sache selbst nicht berührte, veranlasste mich, die Arbeit von Neuem aufzunehmen, und die angestellten Versuche zeigten mir, dass die Einathmung unter dem erhöhten Luftdrucke noch durch einen anderen, bis dahin nicht beachteten Umstand in der wirksamsten Weise gefördert werden müsse: dies ist die Erweiterung, welche die feinsten Luftcanäle erfahren, wenn die Ausathmungsstellung der Lungen sich erweitert. Die Ergebnisse meiner Versuche lehren, dass eine ausnehmend kleine Erweiterung einer feinen Oeffnung unter Umständen genügt, um eine verhältnissmässig bedeutende Vergrösserung der durch diese hindurch strömenden Luftmenge zu bewirken.



Die Versuche bezweckten, die Geschwindigkeiten der Ausdehnung einer in Wasser suspendirten elastischen Blase zu vergleichen, wenn man die sie ausdehnende Luft durch feine Oeffnungen von verschiedener Weite in die Blase eintreten liess. Der dabei benützte Apparat ist der Hauptsache nach in der nebenstehenden Abbildung dargestellt, in welcher das Gestell, das den Apparat trägt, weggelassen ist, weil es das Bild überladen und das Verständniss der Abbildung erschwert haben würde.

Wie man sieht, besteht der Apparat aus zwei kurzen cylindrischen Glasgefässen, von welchen das obere durch einen in den Hals des unteren gut eingeschliffenen Fortsatz mit diesem verbunden ist. In dem Hals des oberen Gefässes ist mit Hülfe eines Kautschukpfropfens der Hals einer Kautschukblase luftdicht befestigt, während die Blase selbst in das Gefäss hineinragt. Das Innere dieser Blase steht durch ein Glasröhrchen mit

capillarer Mündung mit der äusseren Luft in Verbindung. Aus dem Boden des unteren Gefässes führt ein elastischer Schlauch zu einem Trichter, der an dem Gestelle, welches den Apparat trägt, so befestigt ist, dass er zur Seite der Glasgefässe an einem feststehenden Maassstabe auf- und abgeschoben und in beliebiger Höhe zum Apparate durch eine Schraube festgestellt werden kann. Um den Versuch vorzubereiten, wird das untere Gefäss zur Hälfte mit Quecksilber gefüllt, zur anderen Hälfte bis etwa in die Mitte seines Halses mit Wasser. Dann wird das obere Gefäss mit Hülfe einer Pipette durch eine kleine Oeffnung in seinem unteren Fortsatze ebenfalls mit Wasser gefüllt und so in den Hals des unteren eingesetzt, was wegen der Enge seiner Oeffnung ohne Lufteintritt ausgeführt werden kann. Darauf wird der Trichter etwa in die Höhe des oberen Gefässes gebracht, und nachdem man dann durch Oeffnung des am Kautschukschlauche befindlichen Hahnes dem Quecksilber den Eintritt in denselben gewährt hat, wird er mit Vorsicht genauer eingestellt, bis die Blase ihren natürlichen Umfang einnimmt. Diese Stellung ist in der Abbildung aufgefasst.

Das bei dieser Gelegenheit in den Trichter übertretende Quecksilber kann, so weit es überflüssig ist, durch ein an diesen angeschmolzenes Glasröhrchen abgelassen werden, wobei es durch einen mit einer Klammer verschliessbaren Kautschukschlauch, der an das Röhrchen angesetzt ist, in ein untergestelltes Gefäss abgeleitet wird. Der Schlauch und das Gefäss sind nicht abgebildet.

Man schliesst nun den Hahn und bemerkt sich an dem Maassstabe die Stellung des Trichters. Darauf wird der Trichter in eine tiefere Stellung gebracht und dort befestigt. Zur Ausführung des Versuches wird nun der Hahn wieder geöffnet, und während das Quecksilber abfliesst, welches in einem graduirten kleinen Cylinder aufgefangen wird, tritt durch die feine Spitze Luft in die Blase und dehnt diese aus. Man zählt mit Hülfe einer Schlaguhr, die $^1/_4$ Secunden angiebt, die Secunden, welche verfliessen, bis der Boden der sich ausdehnenden Blase eine ideale Linie erreicht, welche durch einander gegenüber liegende Marken an dem oberen Gefässe genau in's Auge gefasst werden kann.

Um der Luft den Zutritt in die Blase zu gewähren, benützte ich Glasröhrchen mit Oeffnungen verschiedener Weite, welche sich innerhalb der Grösse von Durchmessern der feinsten Bronchien bewegen mussten. Ein feinster Bronchialzweig hat nach Gerlach einen Querschnitt von $0 \cdot 11^{mm}$ ($0 \cdot 05''$), und nach Henle betragen die Querschnitte der Endzweige vor ihrem Eintritte in die Infundibula $0 \cdot 3 - 0 \cdot 4^{mm}$.

Ich nehme an, dass die Maasse im zusammengefallenen Zustande der Bronchien genommen sind, und berechne daraus die Durchmesser, welche

ihnen im ausgedehnten Zustande entsprechen würden, zu 0·07, 0·19 und 0·25 mm. In der lebenden Lunge sind sie etwas weiter.

Ich nahm drei fein ausgezogene Glasröhrchen, von welchen das erste eine Oeffnung von 0·35 mm hatte, deren Durchmesser mit einem dazu geeigneten Instrumente gemessen werden konnte. Um die feineren Oeffnungen der beiden anderen Röhrchen zu messen, liess ich durch alle drei, nachdem sie mit Weingeist gereinigt waren, eine bestimmte Menge Quecksilber hindurchlaufen, und zählte die Zeitabschnitte, welche darüber verflossen. Die Durchmesser der Oeffnungen mussten nun in dem umgekehrten Verhältnisse stehen, wie die Quadratwurzeln aus den Durchlaufszeiten, und dies ergab für die beiden feineren Oeffnungen Durchmesser von 0·18 und 0·14 mm. Die Oeffnung des Kautschukpfropfens in dem Halse des oberen Gefässes, in welche die Röhrchen hineinpassten, diente als vierte Versuchsöffnung, sie hatte 4 mm im Durchmesser.

Es wurden zwei Reihen von Versuchen gemacht, die sich durch die verschiedene Grösse der zur Ausdehnung angewandten Kraft unterschieden. Für die eine hatte der vor dem Trichter am Schlauche befindliche Hahn einen Durchmesser von 2 mm, für die andere einen Durchmesser von 4 mm. Zuerst wurde jedesmal der Versuch mit der 4 mm weiten Oeffnung des Kautschukpfropfens gemacht, dann mit jedem der drei Röhrchen; der Inhalt der Blase, wenn sie sich im ruhenden Gleichgewicht befand, war etwa 6 ccm, und bei der Ausdehnung, welche sie am Schlusse des Versuches erreicht hatte, war er etwa 12 ccm grösser, denn so viel Quecksilber floss jedesmal bei einem Versuche ab.

Für die Versuche wurde der untere Befestigungspunkt des Trichters immer 129 mm unter dem oberen genommen, und für diese Fallhöhe wurde auch die Geschwindigkeit bestimmt, mit welcher 12 ccm Quecksilber abflossen, nachdem man das obere Gefäss mit der Blase entfernt und aus dem unteren das Wasser weggenommen hatte. Mit dem engeren Hahne von 2 mm Durchmesser dauerte dieser Abfluss 5·2 Secunden und der Quecksilberspiegel im unteren Gefässe, der nahezu 54 mm im Durchmesser hatte, sank dabei um 1 mm in der Secunde. Mit dem weiteren Hahne sank der Spiegel 4 mm in einer Secunde und der Abfluss von 12 ccm würde mit diesem Hahn 2·3 Secunden Zeit gebraucht haben. Diese Geschwindigkeiten mussten abnehmen, wann bei dem Versuche das obere Gefäss mit der Blase wieder aufgesetzt wurde.

Die folgenden Zahlen, welche die Zeiten angeben, in welchen bei den Versuchen die Ausdehnung der Blase mit den verschiedenen Oeffnungen für den Lufteintritt erfolgte, sind Mittelwerthe, welche immer aus je vier fast genau übereinstimmenden Beobachtungen gezogen wurden.

Ich bemerke noch, dass die Blase, wenn sie häufig ausgedehnt worden ist, im Ruhestande um ein weniges erweitert zu sein pflegt, was aber bei kurzen Versuchsreihen, wie die vorliegenden, keinen bemerklichen Einfluss auf das Ergebniss hat; bleibt dann die Blase längere Zeit wieder in Ruhe so kehrt sie nahezu auf ihren früheren Umfang zurück.

Durchmesser der Oeffnung	Zeit in Secunden			
	I. Hahn 2 mm	Unterschied	II. Hahn 4 mm	Unterschied
a. 4·00 mm	11·4		3·4	
b. 0·35 „	11·8	0·4	4·9	1·5
c. 0·18 „	12·9	1·1	7·2	2·3
d. 0·14 „	17·3	4·4	13·1	5·9

Vergleichen wir die Ausdehnungszeiten, so bemerken wir, dass zwischen *a* und *b* in der Reihe I die Zunahme der Ausdehnungszeit sehr unbedeutend ist, obgleich der Durchmesser der Oeffnung bei *b* mehr als 11mal kleiner ist als bei *a*. Zwischen *b* und *c* ist die Zunahme stärker, und zwischen *c* und *d* wird der Unterschied in der Ausdehnungszeit schon sehr bedeutend.

In der Reihe II, in welcher bei Entfernung des oberen Gefässes der Quecksilberspiegel mit der vierfachen Geschwindigkeit gesunken war, sind die Ausdehnungszeiten viel kleiner, aber ihre Unterschiede nehmen überall zu.

Verfolgen wir den Weg, auf welchem sich die Ausdehnung der Lungen bei der Einathmung vollzieht, wobei wir, um die Darstellung zu vereinfachen, annehmen wollen, dass die Lungen nach der Ausathmung im ruhenden Gleichgewicht sich befinden, indem innerhalb und ausserhalb derselben der atmosphaerische Druck herrscht. Ihre Ausdehnung wird nun damit eingeleitet, dass zunächst durch die Anspannung der Athemmuskeln, welche den die Lungen umgebenden Pleuraraum zu erweitern streben, ein Theil des Druckes, der auf die äussere Oberfläche der Lunge wirkt, aufgehoben wird. Dadurch erlangt der im Inneren der Lunge herrschende Luftdruck ein Uebergewicht von der gleichen Stärke, wie die Muskelspannung, und dehnt die Lunge in den sich erweiternden Pleuraraum hinein aus.

Man sieht leicht, dass sich der Pleuraraum nicht erweitern könnte, wenn im Inneren der Lunge das Uebergewicht des Druckes nicht stark genug wäre, um die elastische Spannung der Lungen zu überwinden.

Den gleichen Vorgang können wir an der Blase verfolgen und dadurch die Bedingungen kennen lernen, welche die Geschwindigkeit der Einathmung beherrschen. Vor dem Beginn des Versuches ist sowohl der Luft-

druck im Inneren der Blase, als der Druck in der sie umgebenden Flüssigkeit gleich dem atmosphaerischen Drucke b. Senken wir nun den Trichter, so haben wir, sobald der Hahn geöffnet wird, den Druck in der Umgebung der Blase um den Betrag der Senkung herabgesetzt, und wenn dieser a ist, so wird der Druck in der Umgebung der Blase nun $b - a$, während er in der Blase selbst noch b ist. Im Inneren der Blase ist also der Druck stärker, und dehnt vermöge seines Uebergewichtes diese aus, während unten Quecksilber abfliesst.

Wenn man bei diesem Versuche den Zutritt der äusseren Luft in die Blase verhindert, indem man die Oeffnung am Röhrchen mit dem Finger verschliesst, so schreitet die Ausdehnung der Blase zuerst noch fort, während die Spannung oder der Druck der darin enthaltenen Luft durch Erweiterung des Raumes abnimmt. Damit vermindert sich aber auch sein Uebergewicht, und sobald dieses so weit abgenommen hat, dass das noch bleibende gerade nur hinreicht, um der unterdessen aufgetretenen Spannung der Blasenwandung das Gleichgewicht zu halten, so kann von diesem Augenblicke an die Ausdehnung nicht weiter vorschreiten und das Quecksilber hört auf zu fliessen. Lassen wir wieder Luft durch das Röhrchen eintreten, so geht die Ausdehnung weiter und das Fliessen beginnt von neuem. Der hinreichende Zutritt der äusseren Luft in den luftverdünnten Raum der Blase ist also die Bedingung, welche es möglich macht, dass die Ausdehnung vorschreite, weil nur der immer erneute Zutritt von Luft es verhindern kann, dass der Luftdruck in der Blase zu sehr abnehme. Es bleibt dadurch im Inneren der Blase immer ein Ueberschuss von Druck, der die weitere Ausdehnung bewirkt, welche sich nun fortsetzt, bis die Spannung der Blasenwandung selbst so stark geworden ist, dass sie dem Druckunterschied das Gleichgewicht hält.

Dieser Versuch zeigt uns die Bedingungen, welche die Geschwindigkeit beherrschen, mit welcher die Blase sich ausdehnt. Wenn wir die Spannkraft der Blase als gleichbleibend annehmen, so hängt die Geschwindigkeit einerseits ab von der Grösse der Kraft, welche den Raum in der Umgebung der Blase zu erweitern strebt, indem sie einen Theil des darauf ruhenden Luftdruckes aufhebt, andererseits von der Schnelligkeit, mit welcher Luft in die Blase einströmen kann, also bei gleichbleibender Kraft, von dem Durchmesser der Einflussöffnung. Am raschesten wird die Ausdehnung erfolgen, wenn immer so viel Luft einströmen kann, dass der Luftdruck im Inneren nahezu dem atmosphaerischen gleichkommt, weil er dann mit beinahe seinem vollen Uebergewicht auf die Ausdehnung wirken kann.

Verändern wir die zur Erweiterung angewandte Kraft und setzen wir den Fall, dass sie sehr gering sei, so würde auch bei freiem Luftzutritte die Ausdehnung der Blase nur langsamer vorschreiten. Unter solchen

Umständen könnte die Oeffnung für den Eintritt der Luft schon ziemlich stark beschränkt werden, und es würde in der Zeiteinheit immer noch Luft genug eintreten können, um den Luftdruck im Inneren nahezu gleichlaufend mit derjenigen Geschwindigkeit der Erweiterung zu ergänzen, welche der angewandten Kraft entspricht. Ein solches Verhältniss erkennen wir in der unbedeutenden Abnahme der Ausdehnungsgeschwindigkeit zwischen *a* und *b* in der Reihe I, obgleich die Einflussöffnung bei *b* bedeutend kleiner war als bei *a*. Allein mit der weiter zunehmenden Verengung wird auch bei einer schwachen Kraft einmal eine Grenze kommen, jenseits welcher eine noch weitere Zunahme der Verengung einen merklichen Einfluss auf die Geschwindigkeit der Ausdehnung besitzt, und diese Grenze scheint bei *c* der I. Reihe mit dem Durchmesser von 0·18 mm erreicht zu sein, denn die weitere Verengung auf 0·14 mm in *d* bewirkt eine beträchtliche Verlangsamung der Ausdehnung. Es verhält sich nun die Zeit der Ausdehnung bei *d* zur Zeit der Ausdehnung bei *c*, 17·3 : 12·9 nahezu wie 0·18 : 0·14, also verhalten sich hier die Ausdehnungszeiten umgekehrt, wie die Durchmesser der Oeffnungen.

Die Geschwindigkeiten der Ausdehnung verhalten sich nun umgekehrt wie die Zeiten, und sie stehen also bei einer niedrigen Kraftanwendung, wie hier, etwa in dem Verhältnisse wie die Durchmesser der Einflussöffnungen. Wenn demnach der Durchmesser der Oeffnung von 0·14 auf 0·18 erweitert wird, so nimmt die Geschwindigkeit der Ausdehnung in einem ähnlichen Verhältnisse zu; 12·9 : 17·3 verhält sich wie 100 : 134, 0·14 : 0·18 wie 100 : 129.

Von *a* bis *d* wachsen die Unterschiede der Ausdehnungszeiten in steigendem Verhältnisse, und wir können daher schliessen, dass sie in stärkerem Verhältnisse als dem der Durchmesser zunehmen würden, wenn die Oeffnung noch weiter verengt werden würde.

Ebenso würde aber auch die Ausdehnung der Blase bei einer Erweiterung von einem unter 0·14 gelegenen Durchmesser ausgehend, in stärkerem Verhältnisse beschleunigt werden, als der Zunahme der Durchmesser entspräche.

Wenn in der Reihe II die Kraft zunimmt, welche den Raum in der Umgebung der Blase zu erweitern strebt, so nimmt die Zeit der Ausdehnung bei allen Durchmessern ab, aber die durch die Verengung der Einflussöffnung bewirkte Verzögerung wird zugleich stärker. Denn wenn die Raumerweiterung, wie in der Reihe II, um das vierfache, oder mit der vierfachen Kraft beschleunigt wird, so müsste in der Zeiteinheit viel mehr Luft einströmen, damit die Erweiterung mit einer der angewandten Kraft entsprechenden Geschwindigkeit stattfinde. Der Einfluss einer Verengung der Oeffnung auf die Verzögerung des Luftzutrittes wird deshalb

jetzt stärker hervortreten, und wir sehen, dass alle Unterschiede vergrössert sind. In demselben Verhältnisse nehmen aber auch die Geschwindigkeiten der Ausdehnung zu, wenn die Oeffnung erweitert wird, denn $7 \cdot 2 : 13 \cdot 1$ verhält sich wie 100:182. Die Geschwindigkeit der Ausdehnung bei *c* nähert sich also dem zweifachen Betrage der Geschwindigkeit bei *d*.

Wenn wir annehmen dürfen, dass die Durchmesser bei *c* und bei *d* Durchmessern feinster Bronchien entsprechen, und wenn wir auf diese Annahme hin die Verhältnisse, in welchen die Geschwindigkeit der Ausdehnung hier zunimmt, auf die Lungen übertragen wollen, so ist bei den Lungen hauptsächlich die Vergrösserung der Anfangsgeschwindigkeit in's Auge zu fassen, welche durch die erweiterte Ausathmungsstellung erreicht wird. Denn im Fortgang der Einathmung nimmt mit der Ausdehnung im Verhältniss die Erweiterung der feinsten Bronchien noch weiter zu, so dass eine verhältnissmässige Zunahme der Geschwindigkeit während der Einathmung bestehen bleibt. Bei der gewöhnlichen Athmung erkennt man die zunehmende Erweiterung der feinsten Bronchien an der gleichmässig absteigenden, fast geraden Linie der Einathmungscurven, und sie drückt sich eben so aus in der Leichtigkeit, mit welcher im Fortgange der Einathmung die Ausdehnung der Lungen ohne Zunahme der Muskelanstrengung erfolgt.

Wenn die feineren Bronchien, wie bei Asthma, durch Schwellung verengt und weniger nachgiebig sind, ist die Athmung schwieriger als gewöhnlich und ermüdend, und gerade in solchen Zuständen ist die Wirkung der erweiterten Lungenstellung unter dem erhöhten Luftdrucke eine auffallende. Sie zeigt sich allerdings nicht auf dem Höhepunkte eines asthmatischen Anfalles, weil der Zustand, in welchem sich die Bronchien dann befinden, eine passive Ausdehnung nicht gestattet, allein in der Periode, wann dieser Zustand abgeschwächt, aber das Athmen noch mit Anstrengung verbunden ist, dann tritt die Wirkung in beruhigender Weise auf. Die vorher noch mühsame Athmung vollzieht sich mit dem zunehmenden Luftdrucke bald wieder unbewusst und der Patient fühlt sich wie von einer schweren Last befreit. Meist überlässt er sich dann dem oft lang entbehrten Schlafe. Offenbar trägt in solchen Fällen auch die Entlastung der Bronchialgefässe bei einer weiter ausgedehnten Stellung der Lunge zur Erleichterung bei.

Da die Lungenbläschen eine unregelmässige Kugelform besitzen und bei der Erweiterung des Pleuraraumes nach drei Dimensionen zunehmen, eine Erweiterung, an welcher sich auch die zwischen ihnen eingebetteten feinsten Bronchien betheiligen, so können wir uns, um die Betrachtung zu erleichtern, den luftigen Inhalt der Lungen in einer einzigen kugelförmigen Blase vereinigt denken, deren Durchmesser wir bei der Ausdehnung zunehmen lassen.

Nimmt man an, dass der Inhalt der Lunge nach vollendeter Ausathmung 2000 ccm betrage, so ist der Durchmesser einer Kugel dieses Inhaltes 15·6 cm. Bei Panum's Versuchen lag die Erweiterung der Lungenstellung zwischen 200 ccm und 500 ccm, und wenn man den Inhalt der Lunge in der Ausathmungsstellung um diese Grössen vermehrt, so beträgt der Durchmesser einer Kugel von 2200 ccm 16·2 cm und von 2500 ccm 16·8 cm. Die Zunahme der Durchmesser betrüge im ersten Falle etwa 4 Procent, im letzten 8 Procent, und in etwa demselben Verhältnisse würden die Durchmesser der feinsten Bronchien sich erweitern.

Wenn wir nun nach Maassgabe unserer Versuche annehmen wollen, dass bei ruhigem, nicht angestrengten Athmen die Geschwindigkeit der Ausathmung im Verhältnisse der Vergrösserung der Durchmesser der feinen Bronchien zunehme, so würde die Beschleunigung der Einathmung zwischen 4 Procent und 8 Procent betragen. Bei Hrn. Mack nahm die Zeit der Einathmung durchschnittlich von 4·5 Sec. auf 4·2 Sec. im erhöhten Luftdrucke ab, die Beschleunigung betrug also hier 7 Procent. Bei Hausmann nahm im Durchschnitte der sämmtlichen Beobachtungen die Zeit der Einathmung von 1·48 Sec. ab auf 1·40 Sec.,[1] die Beschleunigung betrug also etwa 5 Proc. Ist die Athmung angestrengt, wie bei asthmatischer Verengung, dann würde nach dem Verhältnisse der Reihe II eine kleine Erweiterung eine noch viel wirksamere Erleichterung der Einathmung gewähren.

Die Thatsache der unter dem erhöhten Luftdrucke erleichterten Einathmung ist vorhanden, und ich habe im Vorhergehenden die Ursachen darzulegen versucht, welche zur Herbeiführung dieses Ergebnisses beitragen. Auf der anderen Seite muss man zugeben, dass aus der Verdichtung der Atmosphaere auch der Grund für eine Verzögerung der Einathmung unter dem erhöhten Luftdrucke abgeleitet werden könne, denn so wie die Verdichtung der Atmosphaere das Ausströmen aus feinen Oeffnungen verlangsamt, ebenso sollte man denken, würde sie auch das Einströmen von Luft durch solche verzögern. Die Bedingungen des Ausströmens von Luft unter einem Drucke in eine gleichmässig dichte Atmosphaere sind nun nicht ganz die nämlichen, wie die Bedingungen des Einströmens in eine durch Ausdehnung der darin befindlichen Luft sich erweiternde Blase, auch wenn wir die gleichzeitige Erweiterung der Zuflusscanäle in die Alveolen nicht in Rechnung bringen. Ich machte den Versuch, die Grösse der etwa vorhandenen Verzögerung des Einströmens unter den Bedingungen meines Apparates zu bestimmen, allein es gelang mir nicht, in wiederholt vorgenommenen längeren Reihen von vergleichenden Versuchen, eine Verzöge-

[1] Vergl. oben S. 45 und 47.

rung der Einströmung dauernd nachzuweisen, während eine Verzögerung der Ausströmung auch mit diesem Apparate wahrgenommen wurde, obgleich er sich zur Beobachtung gerade dieser Erscheinung weniger eignete.

Wenn ich deshalb die Frage vorläufig unentschieden lassen muss, so lässt sich doch aus dem Mangel eines Ergebnisses mit meinem Apparate schliessen, dass eine Verzögerung der Einströmung, wenn sie vorhanden ist, jedenfalls in einem kleineren Verhältnisse auftritt, als die Verzögerung der Ausströmung, so klein, dass es weit überwogen wird von der Beschleunigung, welche die Einathmung durch die Erweiterung der Luftcanäle und durch die mittelbare Unterstützung des erhöhten Luftdruckes erfährt.

Beilagen.

Athmungen des Hrn. J. Mack, März 1867.

Für die Versuche im Jahre 1867 hatte ich den Apparat zur Aichung der Gasuhr noch nicht erhalten können, allein die ausgeathmeten Luftmengen stimmten mit den späteren gut überein. Da die Füllung der Gasuhr die gleiche blieb, so würde auch eine stärkere Abweichung die Vergleichung zwischen den beiden Luftdrucken nicht beeinträchtigt haben, und so trug ich kein Bedenken, die Versuche in der Tabelle S. 54 einzureihen. Die spätere Correction der Gasuhr für die ausgeathmeten Luftmengen betrug in der Regel zwischen 0 und 3 Procent, so dass der durch ihre Nichtbeachtung entstehende Fehler auch nur gering sein konnte. Die ausgeathmeten Luftmengen sind immer auf 0^0 und frei von Wasserdampf bei dem herrschenden Barometerstande berechnet.

Gewöhnlicher Luftdruck		Frequenz in 3 Min.	Luftmengen in 15 Min. Liter	Erhöhter Luftdruck		Frequenz in 3 Min.	Luftmengen in 15 Min. Liter	Ueberdruck Cm.
März 7.	I	21	91·7	März 7.	II	22	83·9	32
„ 8.	I	23	86·5		III	20	81·2	
„ 10.	I	23·5	88·5	„ 8.	II	19·5	86·6	
	II	22·5	86·7		III	19	81·0	
	III	22	84·6	„ 9.	I	17	86·8	
„ 11.	I	21·5	96·9		II	18·1	87·5	
	II	20·5	90·5		III	18·3	79·6	
	III	21	89·6					

Gewöhnlicher Luftdruck	Frequenz in 3 Min.	Luftmengen in 15 Min. Liter	Erhöhter Luftdruck	Frequenz in 3 Min.	Luftmengen in 15 Min. Liter	Ueberdruck Cm.
März 18. I	18	86·2	März 20. I	17	—	32
II	18	85·0	II	20	87·2	
III	18	85·5	III	19	82·9	
„ 19. erregt I	18	95·7	„ 21. erregt I	17	90·4	
II	19	94·7	II	17	95·0	
III	21	94·1	III	19	93·7	
März 22. IV. ermüdet	18·5	76·0	März 22. I	18	84·5	
			II	16	81·6	
			ermüdet III	13	75·9	

Athmungen des Hrn. J. Mack, Januar und Februar 1868.

Von nun an sind alle Beobachtungen mit einer Correction für die Angaben der Gasuhr versehen. Luftmengen bei 0^0 trocken.

Gewöhnlicher Luftdruck	Frequenz in 3 Min.	Luftmengen in 15 Min. Liter	Erhöhter Luftdruck	Frequenz in 3 Min.	Luftmengen in 15 Min. Liter	Ueberdruck Cm.
Jan. 20. I	16	74·5	Jan. 23. I	13	84·4	40
II	15·5	78·8	II	12	83·3	
III	18	78·6	III	13	81·1	
„ 22. I	17	81·4	„ 25. I	13·5	81·5	
II	16	91·1	II	14·5	80·3	
III	16	86·9	III	14·2	81·6	
„ 27. I	17·0	78·6	„ 29. I	—	—	50
II	16·5	78·2	II	14	78·5	
III	16·0	80·2	III	12·5	78·6	
„ 28. I	15	78·8	„ 30. I	14	74·9	
II	15·5	81·6	II	13	77·2	
III	16	86·2	III	12	74·2	
Febr. 17. I	14·5	93·6	Febr. 19. I	16	87·8	40
II	13·5	87·9	II	14	81·7	
III	13·7	83·2	III	13	81·7	
„ 18. I	16	90·1	„ 21. I	13	99·2	
II	15	82·9	II	13·5	93·0	
III	15	79·8	III	15	90·2	
„ 26. I	15	91·4	„ 22. I	14·5	86·3	50
II	15	94·4	II	13	86·6	
III	14	84·1	III	13	84·9	
„ 27. I	14	86·4	„ 24. I	13·2	85·0	
II	13	79·2	II	14	87·4	
III	13·5	80·7	III	14·2	85·7	

Athmungen des Hrn. J. Mack im October 1870.

Diesen Beobachtungen ist die Berechnung der ausgeathmeten Luftmengen bei dem herrschenden Barometerstand auf 35° C. und mit Wasserdampf gesättigt, die Temperatur und Feuchtigkeit der ausgeathmeten Luft, hinzugefügt. Der Ueberdruck war am 19. und 20. October 30 cm, am 21. und 22. October 32 cm Quecksilber.

Gewöhnlicher Luftdruck	Frequ. in 8 Min.	Luftmenge in 15 Min. Liter		Erhöhter Luftdruck	Frequ. in 8 Min.	Luftmenge in 15 Min. Liter	
		0° trocken	35° feucht			0° trocken	35° feucht
Oct. 17. I	44	87·1	104·3	Oct. 19. I	31	76·9	90·6
II	38	83·8	100·3	II	31	77·2	90·9
III	36	84·5	101·2	III	30	80·5	94·8
„ 18. I	37	95·5	114·6	„ 20. I	33	73·8	86·9
II	37	97·5	116·9	II	34	75·4	89·0
III	33	82·2	98·6	III	31	77·8	91·6
„ 28.[1] I	29	79·6	95·6	„ 21. I	30	78·3	92·2
II	30	89·2	107·1	II	32	80·1	94·3
III	27	78·0	93·6	III	30	78·5	92·4
„ 29.[1] I	29	85·0	102·0	„ 22. I	29	83·0	97·7
II	30	83·7	100·3	II	30	78·3	92·1
III	27	81·3	97·5	III	31	82·9	97·6
„ 30 I	33	81·6	97·9				
II	33	79·8	95·7				
III	31	85·3	102·3				
„ 31. I	30	81·8	98·1				
II	30	74·2	89·0				
III	31	80·0	96·1				

Athmungen des Hrn. Krämer, November und December 1868.

Der Ueberdruck war 32 cm Quecksilber. Die Luftmengen sind auf 0° und trocken bei dem herrschenden Barometerstand berechnet.

[1] Die Athmungen vom 28. und 29. October waren in Folge von nervöser Abspannung und der Nachwirkung des erhöhten Luftdruckes abnorm träge und tief, daher wurden, um normalere Athmungen zu erhalten, die Versuche noch zwei Tage, am 30. und 31. October fortgesetzt.

Gewöhnlicher Luftdruck	Frequenz in 3 Min.	Luftmenge in 15 Min. Liter	Erhöhter Luftdruck	Frequenz in 3 Min.	Luftmenge in 15 Min. Liter
Nov. 25. I	31	106·7	Nov. 27. I	23	108·3
II	32	106·5	II	25	98·2
III	35	104·0	III	19	96·7
„ 26. I	28	100·7	„ 28. I	23	105·1
II	27	99·1	II	21	97·3
III	27	91·4	III	18	94·7
Dec. 3. I	22	97·7	„ 30. I	—	97·0
II	20	103·8	II	20	92·3
III	23	87·7	III	21	98·5
„ 4. I	19	84·0	Dec. 1. I	24	95·8
II	19	85·2	II	19	90·1
III	19	84·7	III	19	82·1

Athmungen des Hrn. Krämer im December 1869.

Gewöhnlicher Luftdruck	Frequenz in 6 Min.	Luftmenge in 15 Min. Liter	Erhöhter Luftdruck	Frequenz in 6 Min.	Luftmenge in 15 Min. Liter
Dec. 15. I	41	98·4	Dec. 17.	—	—
II	45	91·6		—	—
III	47	101·5		—	—
„ 16. I	44	97·5	„ 18.	—	—
II	47	97·7		—	—
III	44	91·3		—	—
„ 23. I	45	102·8	„ 21. I	42	92·4
II	44	98·7	II	47	94·0
III	41	93·6	III	39	92·4
„ 24. I	36	100·3	„ 22. I	41	93·6
II	39	103·3	II	35	89·0
III	38	102·4	III	38	89·4

Athmungen von Hausmann im November 1872 und Mai 1873.

Die ausgeathmeten Luftmengen sind sowohl bei 0° C. trocken, als bei 35° C. und mit Feuchtigkeit gesättigt angegeben. Der Ueberdruck war 32 cm Quecksilber, die Athemzüge wurden 1872 8 Min., 1873 12 Min. gezählt.

Gewöhnlicher Luftdruck	Frequ. in 1 Min.	Luftmenge in 15 Min. Liter		Erhöhter Luftdruck	Frequ. in 1 Min.	Luftmenge in 15 Min. Liter	
		0° trocken	35° feucht			0° trocken	35° feucht
Nov. 15. I	14·1	123·8	148·3	Nov. 22. I	15·0	105·0	123·4
II	15·3	106·6	127·6	II	15·6	102·7	120·7
III	15·7	107·8	129·1	III	15·6	97·7	114·9

Gewöhnlicher Luftdruck	Frequ. in 1 Min.	Luftmenge in 15 Min. Liter 0° trocken	35° feucht	Erhöhter Luftdruck	Frequ. in 1 Min.	Luftmenge in 15 Min. Liter 0° trocken	35° feucht
Nov. 16. I.	15·5	119·3	142·7	Nov. 23. I	16·4	105·3	123·5
II	17·5	118·4	141·5	II	15·4	99·7	116·8
III	14·6	106·8	127·7	III	16·2	101·2	118·8
„ 17. I	17·1	115·3	138·1	„ 25. I	15·8	99·4	116·7
II	15·5	109·3	130·8	II	16·5	95·6	112·3
III	16·0	112·3	134·5	III	16·1	97·9	114·9
„ 18. I	17·0	118·2	141·7	„ 26. I	15·2	97·0	114·0
II	15·0	106·6	127·7	II	15·9	99·7	117·1
III	19·6	119·4	143·1	III	16·2	99·3	116·1
„ 28. I	18·2	108·9	130·4				
II	17·0	100·1	119·6				
III	18·2	99·1	118·7				
Athmungen von Hausmann 1873. Athemzüge 12 Minuten gezählt.							
Mai 16. I	18·3	99·0	118·5	Mai 19. I	15·4	105·3	126·3
II	15·6	90·3	108·0	II	15·8	106·2	127·0
III	14·9	93·0	111·2	III	16·4	102·0	121·8
„ 17. I	15·8	102·3	122·7	„ 20. I	15·3	105·4	123·9
II	16·1	95·5	114·5	II	15·2	99·3	116·7
III	15·5	94·6	113·3	III	15·5	102·4	120·4
„ 18. I	14·9	98·7	118·3	„ 21. I	16·5	110·5	128·3
II	13·8	93·4	112·0	II	16·1	107·8	125·1
III	14·8	99·8	119·7	III	16·1	107·3	124·4
„ 23. I	18·5	109·8	131·4	„ 22. I	15·6	96·1	111·8
II	17·6	101·2	121·1	II	15·7	100·9	117·4
III	17·3	97·5	116·7	III	15·6	97·8	114·0
„ 24. I	19·8	119·3	142·7				
II	18·4	102·0	121·9				
III	17·6	94·5	113·0				

Zeitdauer der Einathmung und der Ausathmung. Die Beobachtungen eines jeden Tages sind nach der verschiedenen Dauer der Einathmung geordnet, die Zahlen bedeuten Secunden. S. d. E. Summe der Einathmungszeiten. S. d. A. Summe der Ausathmungszeiten. D. d. g. Athz. Dauer des ganzen Athemzuges. Athmungen des Hrn. Mack.

A. Gewöhnlicher Luftdruck am 17. und 18. October 1870.

Einathmung in Secunden:	3	4	4·5	5	6	7	Durchschnitt aus Zählung	Frequenz	Unterschied Zählg.
17. October, 15 Beobachtungen.									
S. d. E.		36		30			4·4		
S. d. A.		76		54			8·7		
D. d. g. Athz.							13·1	12·4	+ 0·7

Einathmung in Secunden:	3	4	4·5	5	6	7	Durchschnitt aus Zählung	Durchschnitt aus Frequenz	Unterschied Zählg.
18. October, 17 Beobachtungen.									
S. d. E.		32		45			4·5		
S. d. A.		67		83			8·8		
D. d. g. Athz.							13·3	13·4	— 0·1

B. Erhöhter Luftdruck am 19. bis 22. October 1870.

19. October, 5 Beobachtungen.									
S. d. E.		16		5			4·2		
S. d. A.		48		14			12·4		
D. d. g. Athz.							16·6	15·7	+ 0·9
20. October, 12 Beobachtungen.									
S. d. E.	12	24			12		4·0		
S. d. A.	34	69			32		11·2		
D. d. g. Athz.							15·2	14·7	+ 0·5
21. October, 12 Beobachtungen.									
S. d. E.		28		25			4·4		
S. d. A.		78		53			10·9		
D. d. g. Athz.							15·3	15·7	— 0·4
22. October, 14 Beobachtungen.									
S. d. E.	6	36		15			4·1		
S. d. A.	23	106		39			12·0		
D. d. g. Athz.							16·1	16·0	+ 0·1

C. Gewöhnlicher Luftdruck vom 28. bis 31. October 1870.

28. October, 17 Beobachtungen.									
S. d. E.		20		45	18		4·9		
S. d. A.		67		107	43		12·8		
D. d. g. Athz.							17·7	16·7	+ 1·0
29. October, 26 Beobachtungen.									
S. d. E.	6	36	9	55	12		4·5		
S. d. A.	23	103	24	135	25		11·9		
D. d. g. Athz.							16·4	16·7	— 0·3
30. October, 19 Beobachtungen.									
S. d. E.	12	52		10			3·9		
S. d. A.	38	139		21·5			10·4		
D. d. g. Athz.							14·3	14·8	— 0·5
31. October, I u. II, 9 Beobacht.									
S. d. E.		8		10	24	7	5·4		
S. d. A.		25		25	52	13	12·8		
D. d. g. Athz.							18·2	16·0	+ 2·2
31. October, III, 6 Beobacht.									
S. d. E.		4		20	6		5·0		
S. d. A.		12		45	10		11·1		
D. d. g. Athz.							16·1	15·5	+ 0·6

Zeitdauer der Einathmung und der Ausathmung bei Hausmann. Die Zahlen bedeuten Secunden.

A. Gewöhnlicher Luftdruck. November 1872.

Einathmung in Secunden:	1	1·25	1·5	1·75	2	Durchschnitt aus Zählung	Durchschnitt aus Frequenz	Unterschied Zählg.
15. November, 10 Beobachtungen.								
S. d. E.			4·5		14·0	1·85		
S. d. A.			7·5		19·0	2·65		
D. d. g. Athz.						4·50	4·24	+ 0·26
16. November, 22 Beobachtungen.								
S. d. E.	2·0		24·0		8·0	1·54		
S. d. A.	3·0		34·0		10·5	2·16		
D. d. g. Athz.						3·70	3·76	— 0·06
17. November, 21 Beobachtungen.								
S. d. E.	1·0	5·0	24·0			1·43		
S. d. A.	2·0	8·5	35·5			2·19		
D. d. g. Athz.						3·62	3·70	— 0·08
18. November, I, 9 Beobachtungen.								
S. d. E.			13·5			1·50		
D. d. A.			21·25			2·36		
D. d. g. Athz.						3·86	3·53	+ 0·33
18. November, II, 15 Beobacht.								
S. d. E.			12·0		14·0	1·70		
S. d. A.			17·5		19·25	2·45		
D. d. g. Athz.						4·15	4·00	+ 0·15
18. November, III, 6 Beobacht.								
S. d. E.			9·0			1·50		
S. d. A.			14·5			2·42		
D. d. g. Athz.						3·92	3·06	+ 0·86
28. November, 29 Beobachtungen.								
S. d. E.	14·0	8·75	12·0			1·20		
S. d. A.	29·75	17·75	21·0			2·36		
D. d. g. Athz.						3·56	3·36	+ 0·20

B. Erhöhter Luftdruck. November 1872.

22. November, I u. II, 15 Beobacht.								
S. d. E.			22·5			1·50		
S. d. A.			41·0			2·73		
D. d. g. Athz.						4·23	3·92	+ 0·31

Einathmung in Secunden:	1	1·25	1·5	1·75	2	Durchschnitt aus Zählung	Durchschnitt aus Frequenz	Unterschied Zählg.
22. November, III, 12 Beobacht.								
S. d. E.			18·0			1·50		
S. d. A.			34·0			2·83		
D. d. g. Athz.						4·33	3·84	+ 0·49
23. November, I u. II, 20 Beobacht.								
S. d. E.		2·5	27·0			1·47		
S. d. A.		5·0	47·0			2·60		
D. d. g. Athz						4·07	3·78	+ 0·29
23. November, III, 11 Beobacht.								
S. d. E.			16·5			1·50		
S. d. A.			31·5			2·86		
D. d. g. Athz.						4·36	3·69	+ 0·67
26. November, 13 Beobachtungen.								
S. d. E.	13·0					1·00		
S. d. A.	37·25					2·86		
D. d. g. Athz.						3·86	3·69	+ 0·17

Ueberall da, wo an den Versuchstagen eine Ordnungszahl, I, II, III, nicht angegeben ist, zeigten die Durchschnitte der Beobachtungen bei den drei Athmungen keine wesentlichen Abweichungen in ihren Unterschieden von den Durchschnitten aus den Frequenzen, und sie konnten deshalb zusammengefasst werden.

Psychophysische Untersuchungen.

Von

Dr. F. C. Müller-Lyer.

Ueber die Abhängigkeit der relativen Unterschiedsempfindlichkeit von Intensität und Extension des Reizes.

Wenn die Psychophysik allgemein die Maassbeziehungen zwischen physischen und psychischen Grössen, oder, wie wir sagen können, zwischen Reiz und psychischer Erregung oder Reizwirkung darzustellen hat, so kann man, ausgehend vom Weber'schen Gesetze, mag es nun gültig sein oder nicht, das psychophysische Gebiet zunächst folgendermaassen erweitern.

Das Weber'sche Gesetz bezieht sich bekanntlich auf die Grösse der positiven oder negativen Superposition, welche nöthig ist, um auf beliebiger Reizhöhe eine ebenmerkliche Unterschiedsempfindung hervorzurufen; es bezieht sich also auf eine einzige bestimmte Eigenschaft des Reizes sowohl, als der Reizwirkung, nämlich auf die Intensität beider. Ausser der Intensität kommen aber dem Reize und der Reizwirkung noch eine Anzahl anderer fundamentaler Eigenschaften zu, die ebenfalls der Messung zugänglich sind. Eine jede dieser Eigenschaften der Reizwirkung steht nun in einem bestimmten Abhängigkeitsverhältnisse zu einer jeden der Eigenschaften des Reizes und es erhebt sich die Aufgabe, jede Eigenschaft des Reizes unter Gleichhaltung der übrigen Reizeigenschaften zu variiren und den Einfluss jeder dieser Variationen auf jede einzelne Eigenschaft der Reizwirkung festzustellen.

Damit stehen wir nun einer ziemlich grossen Anzahl psychophysischer Functionen gegenüber, die sämmtlich der im Weber'schen Gesetz formulirten Beziehung so vollständig coordinirt sind, dass nun kein eigentlicher

Grund mehr vorliegt, dieses Gesetz Das psychophysische Gesetz oder Grundgesetz der Psychophysik zu nennen, da dasselbe nur diejenige psychophysische Maassbeziehung vorstellt, welche aus einer Anzahl ihr völlig gleichwerthiger zufällig zuerst herausgegriffen worden ist

Betrachten wir das soeben umschriebene weitere psychophysische Gebiet etwas genauer, so ist ferner klar, dass die einzelnen Functionen, in welchen stets eine Eigenschaft der Reizwirkung von einer Eigenschaft des Reizes abhängig ist, von einander nicht völlig unabhängig sein können; vielmehr muss eine jede dieser Functionen mit den sämmtlichen anderen in der mannigfachsten Weise wiederum in ganz bestimmten Beziehungen stehen. Gerade nun diese Beziehungen zwischen den einzelnen psychophysischen Functionen, kurz die interfunctionellen Beziehungen, welche in ihrer Gesammtheit den Zusammenhang des psychophysischen Gebietes ausmachen, scheinen mir von besonderer Wichtigkeit zu sein.

Zunächst ist es im Allgemeinen einleuchtend, dass eine auch noch so eifrig und oft wiederholte Betrachtung einzelner isolirter Theile eines zusammengehörigen Ganzen nicht zu jenem Verständniss führen kann, welches sich dem verbindenden und beziehenden Blick zu eröffnen pflegt. Bei psychophysischen Untersuchungen kommt noch hinzu, dass die bis jetzt geübte isolirende Betrachtungsweise auch nicht einmal zu einer sicheren Feststellung des objectiven einzelnen Thatbestandes zu führen vermag, wie u. A. ja der immer noch wogende Streit um die empirische Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes leider hinlänglich darthut. Der Grund dieser Unsicherheit und der häufigen Widersprüche in den Resultaten auf psychophysischem Gebiete liegt meines Erachtens keineswegs in der Unbeständigkeit der psychophysischen Phaenomene selbst; denn diese zeigen, sobald man nur dazu gelangt ist, die Versuchsbedingungen gleich zu halten, thatsächlich eine in hohem Grade befriedigende Gleichförmigkeit. Der Grund der Verschiedenheit in den einzelnen Resultaten ist vielmehr wohl darin zu suchen, dass bei diesen Untersuchungen ein oft unübersehbares Heer von Complicationen, unbemerkten Verschiebungen der Versuchsbedingungen und anderen Fehlern mit unterlaufen. Zu einer Elimination dieser Fehlerquellen wird nun die Kenntniss der interfunctionellen Beziehungen eine bedeutende Hülfe gewähren. Die Fehler und Complicationen, die den einzelnen unmittelbar aus dem Versuche gewonnenen Phänomenen anhaften, werden am sichersten dann zu erkennen sein, wenn man die Einzelergebnisse in den allgemeinen Zusammenhang hineinzufügen versucht, wie er sich aus einer vergleichenden Betrachtung allmählich ergeben dürfte. Auf einer Basis der angegebenen Art wird dann, wie zu hoffen steht, die Psychophysik schliesslich sicherer ruhen, als bis jetzt auf dem einzelnen Punkte des Weber'schen Gesetzes.

Die günstigste Methode zur Feststellung der interfunctionellen Beziehungen wird offenbar darin bestehen, dass man die sämmtlichen einzelnen psychophysischen Functionen nach einem einheitlichen Plan und unter steter Beibehaltung genau derselben Versuchsbedingungen in Untersuchung zieht; und da ein solches Unternehmen die Kräfte eines Einzelnen übersteigen würde, so muss sich wohl jeder Beobachter darauf beschränken, stets zwei Functionen, eine bekannte und eine unbekannte, unter Beibehaltung genau derselben Versuchsbedingungen in Angriff zu nehmen.

Im Folgenden soll nun versucht werden, mit der Bearbeitung des soeben entwickelten Programms einen Anfang zu machen. Die beiden Functionen, die hierzu gewählt wurden, sind:

Die Abhängigkeit der (optischen) relativen Intensitätsunterschiedsempfindlichkeit

1. von der Intensität des Reizes;
2. von der Extension des Reizes.

Jede der beiden Functionen soll zunächst einzeln für sich untersucht werden.

Kapitel I.

Abhängigkeit der relativen Unterschiedsempfindlichkeit von der Reizintensität.

Der erste Theil der hierher gehörigen Mittheilungen (Methode, Messung der Intensitäten, Fehlerquellen und Elimination derselben) ist schon in einer vorhergehenden, in diesem Archive erschienenen Abhandlung[1] zur Veröffentlichung gekommen. Das Nächstfolgende reiht sich in ergänzender Weise unmittelbar an jene Untersuchungen an.

Das letzte Ergebniss, an welches wir hier anzuknüpfen haben, war: dass in einem Bereiche der absoluten Intensität von 1 bis 15 760 die relative Unterschiedsempfindlichkeit von der absoluten Beleuchtung nicht unabhängig ist, sondern bei wachsender Intensität eine stetig langsamer werdende Zunahme zeigt. Für die Zwecke jener Arbeit hatte es genügt, die relativen Werthe der Unterschiedsempfindlichkeit anzugeben, für das Folgende dagegen ist es erforderlich, auch die absoluten Werthe derselben (die sog. Fechner'schen Brüche) festzustellen. Die Methode, deren wir uns bedienten, unterschied sich von der sonst üblichen dadurch, dass nur

[1] Experimentelle Untersuchungen zur Amblyopiefrage. 1887. S. 401—407.

das eine Licht *a*, das „stärkere" vor dem Papier, auf welchem die Schatten entworfen wurden, aufgestellt war, während das „schwächere", schattengebende Licht *b* sich hinter dem Papiere befand. Um also für diese Methode die absoluten Werthe der relativen Unterschiedsempfindlichkeit angeben zu können, ist es nöthig, zu wissen, in welchem Verhältnisse die von dem Lichte *a* herstammende, vom Papier zurückgeworfene Lichtmenge steht zu der von dem Lichte *b* durch das Papier durchgehenden Lichtmenge. Diese Messung wurde mittels des Bunsen'schen Photometers ausgeführt, wobei dafür gesorgt war, dass das Photometer nur von solchem Lichte getroffen werden konnte, welches von dem Papiere ausstrahlte.

Eine Reihe von Messungen ergab, dass das stärkere Licht *a*, welches ein für allemal in derselben Distanz von dem Papiere feststand, eine ebenso grosse Lichtmenge zurückwarf, als die hinter dem Papiere befindliche Lichtquelle *b* durch dasselbe hindurchscheinen liess, wenn sie 9·1 cm dahinter stand. Damit lässt sich nun der Zuwachs, den das stärkere Licht durch das schwächere bei dessen verschiedenen Abständen erfährt, in bekannter Weise leicht berechnen und zwar ergeben sich für die S. 406 (a. a. O.) angegebenen Abstände folgende Zahlen:

Tabelle 1.

Relative Unterschiedsempfindlichkeit des linken Auges.

	Absolute Beleuchtungsintensität	Abstände des Lichtes b	Relative Unterschiedsempfindlichkeit
J_1	1·0	24·9	1/7·5
J_2	3·6	30·4	1/11·2
J_3	7·4	39·0	1/18·3
J_4	15	46·0	1/25·5
J_5	22	51·8	1/32.4
J_6	38	57·5	1/39·9
J_7	77	63·8	1/48·3
J_8	204	70·7	1/60·5
J_9	725	80·3	1/78·0
J_{10}	1507	88·2	1/94·0
J_{11}	3105	93·5	1/105·8
J_{12}	4530	96·1	1/112·0
J_{13}	7640	101·8	1/125·0
J_{14}	15670	103·2	1/128·7

Die Abstände in dieser Tabelle differiren um ein Weniges von den in der vorhergehenden Arbeit mitgetheilten, obgleich dasselbe Versuchs-

material zu Grunde liegt; dort wurde nämlich der mittlere Abstand einfach als Mittel aus den Einzelabständen berechnet.

Dieses Verfahren ist nicht ganz richtig. Man hat vielmehr, genau genommen, die sämmtlichen Einzelabstände erst in's Quadrat zu erheben, dann das Mittel dieser Quadrate zu suchen und das radicirte Mittel als mittleren Abstand zu betrachten. Für die hier vorliegenden Verhältnisse ist der Unterschied zwischen beiden Methoden allerdings nur ein geringer, immerhin ist er aber vorhanden und es wurde deshalb in den folgenden Untersuchungen stets die sämmtlichen Einzelabstände in das Quadrat erhoben und der mittlere Abstand aus dem radicirten Mittel dieser Quadrate berechnet.

In weiteren Versuchen wurde nun genau in der gleichen Weise die relative Unterschiedsempfindlichkeit für das rechte Auge festgestellt. Die folgenden Zahlen sind die Mittel aus vier an acht Versuchstagen gewonnenen Reihen; die gute Uebereinstimmung sowohl der Reihen unter sich als auch mit denen des linken Auges liess hier von zahlreicheren Versuchen absehen.

Tabelle 2.

Relative Unterschiedsempfindlichkeit des rechten Auges.

Absolute Beleuchtungsintensität	Abstände des Lichtes b	Relative Unterschiedsempfindlichkeit
J_1	22·9	1/6·3
J_2	32·2	1/12·5
J_3	34·5	1/14·4
J_4	44·1	1/23·5
J_5	47·4	1/27·1
J_6	55·8	1/37·6
J_7	60·2	1/43·7
J_8	65·4	1/51·7
J_9	77·9	1/73·1
J_{10}	87·9	1/93·3
J_{11}	89·2	1/96·3
J_{12}	93·4	1/105·0
J_{13}	99·3	1/119·0
J_{14}	103·2	1/128·5

In den soeben mitgetheilten beiden Versuchsreihen ist die Abhängigkeit der relativen Unterschiedsempfindlichkeit von der absoluten Beleuchtung

noch nicht im Allgemeinen bestimmt, sondern nur für den einen Fall, dass der kleinere der beiden Reize den Grund bildet, auf welchem sich der grössere oder eigentlich die absolute Differenz der beiden Reize als Object abhebt. Die Vollständigkeit erfordert nun noch den anderen Fall zu untersuchen, in welchem sich dies umgekehrt verhält, in welchem also ein dunkleres Object auf hellerem Grund beobachtet wird.

Die Versuche, die ich in dieser Richtung angestellt, sind zeitlich von den bisher mitgetheilten getrennt; dieselben wurden mehrere Monate nach jenen angestellt und dieses Intervall war durch beinahe tägliche anderweitige Untersuchungen über optische Unterschiedsempfindlichkeit ausgefüllt. Es zeigte sich sofort bei Beginn dieser Versuche, dass die Unterschiedsempfindlichkeit jetzt beträchlich höhere Werthe erreichte, als in den anfänglichen Versuchen. Da die Versuchsbedingungen in keiner Weise geändert worden waren, so kann die Veränderung nur auf die unterdessen erlangte grössere Uebung[1] bezogen werden.

Um einen Vergleich zu ermöglichen soll deshalb zunächst eine solche spätere Versuchsreihe mitgetheilt werden, in welchen wie bisher eine hellere Scheibe auf dunklerem Grunde beobachtet wurde und dann die damit zu vergleichende Reihe mit dunklerer Scheibe auf hellerem Grunde.

Die letzteren Versuche wurden in der Weise angestellt, dass statt des schwarzen, mit einer kreisförmigen Oeffnung versehenen schattengebenden Schirmes eine dem kreisförmigen Ausschnitt genau entsprechende schwarze Pappscheibe mittelst Coconfäden unmittelbar hinter dem Papier aufgehängt wurde und so den Schatten lieferte.

Die folgenden Zahlen sind die Mittel aus je drei Versuchsreihen für jedes Auge.

1. Helleres Feld auf dunklerem Grunde.

Tabelle 3.

a) Linkes Auge.			b) Rechtes Auge.	
Beleuchtungs-Intensität	Abstände von b	Relative Unterschiedsempfindlichkeit	Abstände	Relative Unterschiedsempfindlichkeit
J_1	25	1/7·5	24·3	1/7·1
J_4	49·5	1/29·6	47·3	1/27·0
J_7	73·0	1/64·4	69·9	1/59·1
J_8	81·5	1/80·2	97·4	1/76·6
J_{10}	105·6	1/134·6	101·8	1/125·2

[1] Der Einfluss der Uebung ist auch von anderen Beobachtern als ein recht erheblicher angegeben worden. So sagt Dobrowolsky: „Bei Beginn meiner Unter-

2. Dunkleres Feld auf hellerem Grunde.

Tabelle 4.

a) Linkes Auge.			b) Rechtes Auge.	
Beleuchtungsintensität	Abstände von b	Relative Unterschiedsempfindlichkeit	Abstände	Relative Unterschiedsempfindlichkeit
J_1	27·9	1/9·5	27·0	1/8·8
J_4	55·4	1/37·1	51·6	1/32·2
J_7	75·4	1/68·7	72·5	1/63·5
J_8	82·7	1/82·7	90·5	1/78·2
J_{10}	106·4	1/136·7	105·2	1/133·8

Vergleicht man die beiden Reihen mit einander, so erkennt man eine ziemlich vollkommene Uebereinstimmung; die kleinen Differenzen liegen nirgends ausserhalb des Bereiches der zufälligen Fehler, so dass man zu dem Resultate kommt:

Unter den hier maassgebenden Versuchsbedingungen ist eine deutliche Verschiedenheit in dem Verhalten der Unterschiedsempfindlichkeit nicht zu bemerken, mag nun das Object sich vom Grunde als positiver oder negativer Zuwachs abheben.

Ueberblicken wir jetzt die mitgetheilten Versuchsreihen, so ergeben dieselben übereinstimmend, dass die relative Unterschiedsempfindlichkeit von der absoluten Reizstärke nicht unabhängig ist, sondern in dem ganzen hier untersuchten Gebiete bei zunehmendem Reiz stetig wächst, wenn auch stets viel langsamer als dieser. Die Zunahme der relativen Unterschiedsempfindlichkeit ist ferner keine gleichmässige, vielmehr nimmt dieselbe, wenn man von niederen zu höheren Reizwerthen fortschreitet, erst verhältnissmässig schnell und dann immer langsamer zu. Die graphische Darstellung (Reizintensität als Abscisse, Unterschiedsempfindlichkeit als Ordinate) ergiebt eine krumme Linie, die mit der Concavität nach unten erst ziemlich steil und dann immer weniger steil ansteigt und von anderen einfachen krummen Linien eine gewisse Aehnlichkeit mit einer Parabel bildet.

Nach diesem Befunde besteht also eine strenge Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes in keinem Theile des recht grossen

---

suchungen war die Empfindlichkeit meiner Augen gegen alle Spectralfarben eine viel geringere, als bei Abschluss derselben: bei Beginn der Untersuchungen betrug meine (relative) Unterschiedsempfindlichkeit gegen Roth in Linie $B = 1/12·5$ und gegen Blau 1/180, während bei Abschluss der Untersuchungen sich die Werthe 1/29·7 und 1/268 ergaben." Citirt nach Fechner, *In Sachen der Psychophysik*. S. 150.

Gebietes von Lichtintensitäten, welches wir untersucht haben. Es entsteht deshalb jetzt die Frage, ob in den beigebrachten Zahlen sich vielleicht eine andere einfache Gesetzmässigkeit nachweisen lässt, eine Frage, deren Beantwortung u. A. für das Folgende deshalb wünschenswerth wäre, weil eine Vergleichung der bis jetzt gewonnenen Versuchsresultate mit den im zweiten Kapitel zu beschreibenden durch eine möglichst einfache und übersichtliche Formulirung des bisherigen Befundes wesentlich erleichtert würde.

Um eine Berechnung einzuleiten, erscheint folgende einfache Betrachtung geeignet.

Der physiologische Sinnesreiz gehört zu den erregbarkeitsvermindernden[1] Reizen, d. h. er vermindert die Erregbarkeit des gereizten Organs für seine eigene Superposition. Stellen wir uns nun vor, dass jede gegebene Reizintensität durch die mit gleichmässiger Geschwindigkeit erfolgende Addition kleinster Superpositionen entsteht, so wird jede einzelne Superposition die schon durch die vorhergehenden Superpositionen verminderte Erregbarkeit abermals um einen gewissen Theil vermindern und die Enderregbarkeit wird davon abhängen, in welchem Verhältniss jede neue einzelne Superposition die vor ihr bestehende Erregbarkeit nun abermals vermindert hat. Um nun einen Anhaltspunkt zu gewinnen, gehen wir zunächst von der einfachen Vermuthung aus, dass, wenn der Reiz um eine gleiche Grösse zunimmt, alsdann die Erregbarkeit um einen stets gleichen Theil abnimmt. Wir lassen also den Reiz arithmetisch wachsen und untersuchen, ob alsdann die Erregbarkeit in einem stets gleichen oder aber anderen Verhältniss sich vermindert.

Setzen wir die Erregbarkeit (Q) bei der absoluten Reizschwelle $= 1$ und messen wir den Reiz in Einheiten des Schwellenwerthes, so wird nun für die erste Superposition auf den Schwellenwerth die Erregbarkeit nicht mehr gleich 1 sein, sondern da sie durch den ersten Reiz um einen gewissen Theil $\left(\frac{1}{n}\right)$ vermindert ist, kleiner als 1, $= 1-\frac{1}{n}$; superponiren wir nun auf den ersten den zweiten Reiz gleich 1, so wird durch diese zweite Superposition die schon durch den ersten Reiz verminderte Erregbarkeit abermals vermindert werden, und wenn der zweite Reiz die vor seiner Superposition bestehende Erregbarkeit um denselben Theil $\left(\frac{1}{n}\right)$ vermindert wie der erste, so wird unter der Einwirkung des Reizes $= 2$ die Erregbarkeit sein

[1] Weiteres hierüber in Physiologische Studien zur Psychophysik. *Dies Archiv.* 1886. S. 270—273.

$$Q = \left(1 - \frac{1}{n}\right) - \left(1 - \frac{1}{n}\right)\frac{1}{n} =$$
$$= \left(1 - \frac{1}{n}\right)\left(1 - \frac{1}{n}\right) = \left(1 - \frac{1}{n}\right)^2$$

Fahren wir so fort und setzen $\frac{1}{m}$ für $1 - \frac{1}{n}$, so wird die allgemeine Formel für unsere Vermuthung lauten:

$$Q = \left(\frac{1}{m}\right)^R$$

Zur Durchführung der Berechnung fehlt uns nun noch der Werth für die absolute Reizschwelle (ϱ). Die Bestimmung desselben, die wir jetzt noch nachzutragen haben, geschah in folgender Weise. Nachdem das Licht a gelöscht war, blickte das Auge durch das am meisten verdunkelnde Glas (J_1) in den Apparat und es wurde nun festgestellt, bei welchem Abstand des Lichtes b das kreisrunde Feld auf völlig dunklem Grunde überhaupt noch erkannt werden konnte. Aus diesem Abstande lässt sich dann in bekannter Weise berechnen, wie vielmal die Lichtintensität der absoluten Reizschwelle kleiner war, als die geringste Intensität J_1, bei welcher wir in den bisherigen Versuchen die relative Unterschiedsempfindlichkeit bestimmt haben.

Eine Reihe von Untersuchungen ergab nun ziemlich übereinstimmend für beide Augen, für das linke $\varrho = \frac{J_1}{123}$ und für das rechte $\varrho = \frac{J_1}{119}$. Um also die einzelnen Beleuchtungsintensitäten in Einheiten des Schwellenwerthes auszudrücken, haben wir dieselben für das linke Auge mit 123, für das rechte Auge mit 119 zu multipliciren.

Berechnen wir die Erregbarkeit, welche bei gleichbleibender Wirkung dem Reiz umgekehrt proportional ist, nach der Formel $Q = \frac{1}{r}$, wo r der ebenfalls in Einheiten des Schwellenwerthes ausgedrückte absolute Unterschied (die absolute Superposition zu dem kleineren Reize) der beiden Reize ist, so drückt sich das Verhältniss zwischen Q und R für die Tabelle 1 in nachstehenden Zahlen aus.

	R Reizintensität in Einheiten der absoluten Reizschwelle	Q Erregbarkeit
J_1	123	0·060 976 0
J_2	443	0·025 2940
J_3	910	0·020 1050
J_4	1845	0·013 8210
J_5	2706	0·011 9730
J_6	4674	0·008 5366
J_7	9471	0·005 0998
J_8	25 092	0·002 4112

	R Reizintensität in Einheiten der absoluten Reizschwelle	Q Erregbarkeit
J_9	89 175	0·000 8747
J_{10}	185 730	0·000 5061
J_{11}	381 300	0·000 2775
J_{12}	557 190	0·000 2010
J_{13}	939 720	0·000 1330
J_{14}	1927 000	0·000 0668

Setzt man die zusammengehörigen Werthe von R und Q successive in die obige Formel ein, was hier nicht durchgeführt werden soll, so kommt man zu dem Resultat, dass m keine constante Zahl ist, vielmehr erst langsam und dann immer schneller und schneller zunimmt, d. h. wir kommen zu dem Satz: wenn der Reiz arithmetisch wächst, so nimmt bei jeder neuen Superposition die Erregbarkeit um stetig kleiner werdende Theile ab Unsere erste einfache Vermuthung bestätigt sich also nicht, wir werden aber durch das zuletzt erlangte Resultat veranlasst nachzusehen, wie sich $\frac{1}{m}$ verhält, wenn der Reiz geometrisch wächst. Unter der Voraussetzung, dass dann $\frac{1}{m}$ constant bliebe, kommen wir zu folgender Aufstellung:

$$\begin{aligned}
&\text{Für } R = 1, \ (= 2^0) \text{ ist } Q = \frac{1}{m}\\
&\text{für } R = 2, \ (= 2^1) \text{ ist } Q = \left(\frac{1}{m}\right)^2\\
&\text{für } R = 4, \ (= 2^2) \text{ ist } Q = \left(\frac{1}{m}\right)^3\\
&\qquad\vdots \qquad\qquad\qquad\vdots\\
&\text{für } R = 2^{p-1} \quad \text{ist } Q = \left(\frac{1}{m}\right)^p,
\end{aligned}$$

woraus $p = 1 + log\ R$[1]

und $$Q = \left(\frac{1}{m}\right)^{1 + log\ R} \quad \ldots\ldots\ldots\ 1)$$

Führen wir nun nach dieser Formel die Berechnung durch, so erhalten wir für die Tabellen 1, 2, 3 a und b für $\frac{1}{m}$ folgende Werthe:

$\frac{1}{m}$ in

	Tabelle 1	Tabelle 2	Tabelle 3 a	Tabelle 3 b
J_1	0·7010	0·6880	0·7018	0·6986
J_2	0·6871	0·6946	—	—
J_3	0·6965	0·6833	—	—
J_4	0·6956	0·6928	0·7046	0·7036

[1] *log*, schief gedruckt, bedeutet hier und im Folgenden den Logarithmus für die Basis 2.

	Tabelle 1	Tabelle 2	Tabelle 3 a	Tabelle 3 b
J_5	0·7000	0·6896	—	—
J_6	0·6972	0·6956	—	—
J_7	0·6895	0·6844	0·7038	0·6994
J_8	0·6776	0·6663	0·6919	0·6910
J_9	0·6673	0·6659	0·6835	0·6805
J_{10}	0·6635	0·6630	0·6766	0·6736
J_{11}	0·6569	0·6550	—	—
J_{12}	0·6548	0·6524	0·6649	0·6618
J_{13}	0·6512	0·6506	—	—
J_{14}	0·6435	0·6444	0·6517	0·6497

In dem berechneten Ausdruck ist also m in der That eine nahezu constante Zahl. Nehmen wir als mittleres $\frac{1}{m}$ die Zahl 0·67, so haben wir damit eine Constante vor uns, die in dem grossen Bereiche von dem 123 fachen bis nahezu zum Zweimillionenfachen des Schwellenwerthes um noch nicht $^1/_{20}$ ihres Werthes schwankt. Mit diesem kleinen Fehler können wir also sagen:

Jedesmal wenn der Reiz sich verdoppelt, nimmt die Erregbarkeit um etwa $^1/_3$ ihres Werthes ab.

Mit anderen Worten: Wenn der Reiz geometrisch wächst, nimmt die Erregbarkeit geometrisch ab, aber in einem anderen Verhältniss als der Reiz.

Immerhin darf nicht unbetont bleiben, dass $\frac{1}{m}$ in dem ganzen Bereiche der vorliegenden Intensitäten nicht völlig constant bleibt, um so weniger, als die Schwankungen nicht etwa unregelmässig über das ganze Gebiet zerstreut sind, sondern vielmehr in bestimmter Richtung eine Abweichung erkennen lassen. In dem Bereiche von J_1 bis J_7 bleibt sich die Zahl allerdings nahezu gleich, von da an aber nimmt sie bei steigender Reizintensität stetig etwas ab.

Wir haben es also mit einer oberen Abweichung zu thun, einer Abweichung, deren Nothwendigkeit wohl schon *a priori* hätte vermuthet werden können. Die Formel kann in der hier aufgestellten einfachen Gestalt unmöglich für das Gebiet sämmtlicher Lichtintensitäten von 1 bis ∞ gültig sein. Die Erregbarkeit des Auges müsste in diesem Falle erst durch einen unendlich grossen Reiz aufgehoben werden können, die Unterschiedsempfindlichkeit müsste bei Reizintensitäten, die die nervöse Substanz gerade zu zerstören, eine besonders feine sein. Es ist klar, dass, wenn der Reiz eine gewisse endliche Intensität erreicht hat, die Erregbarkeitsverminderung ein Maximum erreichen muss und es ist ebenso einleuchtend, dass dieser Maximalpunkt

nicht mit einem plötzlichen Sprung die bis dahin geltende Gesetzmässigkeit unterbrechen wird, sondern dass er seinen Einfluss allmählich und in dem Maasse geltend machen muss, als man sich demselben auf der Reizabscisse nähert.

Der hier aufgestellte Ausdruck muss also nothwendig im Verlauf der Reizsteigerung an eine obere Grenze gelangen, was aber wohl nicht hindern wird, die bis dahin vorgefundene Gesetzmässigkeit anzuerkennen und die obere Abweichung eben als Abweichung aufzufassen, wie ja auch eine Reihe physikalischer Sätze in ähnlicher Weise einer oberen Abweichung unterliegen.

Wenn nun auch im Allgemeinen das Vorhandensein einer Abweichung aus der Annäherung der abhängigen Variablen an das Maximum hinlänglich motivirt erscheint, so könnten doch auch noch andere Gründe zu der Abweichung, wie sie speciell in den mitgetheilten Versuchen vorliegt, beigetragen haben. In dieser Beziehung muss erwähnt werden, dass eigentlich die Versuchsanordnung, deren wir uns bedient, dem Sinn der Formel nicht völlig entspricht. In unseren Versuchen ist der superponirte Reiz extensiv kleiner oder grösser als der Reiz, auf welchen superponirt wird. Wir haben die Superposition als Object auf einen Grund von gegebener und willkürlich gewählter Grösse beobachtet, während es offenbar dem Sinn der Formel entsprechen würde, dass in einem Object von gegebener Extension die Superposition durch Aenderung der Lichtintensität in der Zeit erfolgte. Die Grösse des Grundes hat aber wahrscheinlich einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf das Verhalten der Unterschiedsempfindlichkeit und es kann nicht von vornherein angenommen werden, dass dieser Einfluss für alle Reizintensitäten gleich bleibe.

Diese Erwägungen veranlassten mich zu folgenden Versuchen:

In dem bisher benutzten Apparate wurde eine innen geschwärzte Röhre derart hinter der Sehöffnung befestigt, dass das durch das Ocular blickende Auge von dem weissen Papiere nur ein 41 mm im Durchmesser haltendes kreisförmiges Feld übersehen konnte. In diesem Feld wurden Schwankungen der Lichtintensität dadurch hervorgebracht, dass hinter dem Papiere eine schwarze Pappscheibe pendelte, die nun bei jeder Oscillation das Licht der Lampe *b* abwechselnd auf das Papier fallen liess und abblendete. Das längste Pendel, das in dem Apparate untergebracht werden konnte, führte etwa zwei Schwingungen in der Secunde aus; es zeigte sich aber dabei, dass, so lange das Licht b nicht dem Papiere auf eine ganz kleine Distanz genähert wurde, eine Unterschiedsempfindung nur beim Anfangen und Aufhören des Pendelns entstand, wogegen während des Pendelns selbst die beiden Eindrücke verschmolzen wurden (in der Art, wie bei einer

schwingenden Masson'schen Scheibe). Um nun die Intervalle zu verlängern, liess ich das Pendel durch einen Gehülfen in möglichst regelmässiger Weise hin- und herbewegen; doch stellte sich dabei heraus, dass die Unterschiedsempfindlichkeit wesentlich auch von der Geschwindigkeit abhing, mit welcher die Aenderung der Lichtintensität vollzogen wurde, so dass auf diese Weise keine genauen Zahlen zu gewinnen waren. In Ermangelung automatischer Apparate gab ich nun diese wie ich glaube nicht unwichtigen Versuche zunächst auf, nachdem ich immerhin zu folgenden Ergebnissen gekommen war:

1. Die Unterschiedsempfindlichkeit war bei diesem Verfahren mit zeitlicher Aenderung eine viel geringere als bei den Versuchen mit simultaner Aenderung; die Werthe sanken etwa auf die Hälfte herab.

Die Unterschiedsempfindlichkeit verringerte sich noch mehr, wenn sich das Object nicht auf völlig dunklem sondern auf erhelltem Grunde abhob.

2. Auch bei diesem Verfahren nahm die relative Unterschiedsempfindlichkeit bei zunehmendem Reiz stetig zu.

Aus der Beziehung zwischen Reizintensität und Erregbarkeit lassen sich eine Reihe Ableitungen entwickeln; von diesen soll hier nur eine erwähnt werden, nämlich die Ableitung für das Verhältniss der Unterschiedsempfindlichkeit zur Reizintensität. Wir haben:

$$Q = \left(\frac{1}{m}\right)^{\log R + 1} = (2R)^{\frac{\log \frac{1}{m}}{\log 2}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

ferner ist $Q = \frac{1}{r}$

und $U = \frac{R}{r} = QR$

Multiplicirt man mit 2 und setzt für Q den Ausdruck aus 1), so ist

$$2U = 2QR = (2R)^{\frac{\log \frac{1}{m}}{\log 2} + 1}$$

$$U = \frac{1}{2} 2^{1 + \frac{\log \frac{1}{m}}{\log 2}} \cdot R^{1 + \frac{\log \frac{1}{m}}{\log 2}}$$

$$U = a \sqrt[p]{R},$$

wo $a = \frac{1}{2} 2^{1 + \log \frac{1}{m}} = \frac{1}{m}$

und $p = \frac{\log 2}{\log \frac{2}{m}}$ oder auch $= \frac{\log (2R)}{\log (2U)}$

p und a sind dabei in folgender Weise von einander abhängig

$$p = \frac{\log 2}{\log (2\,a)}$$

$a = \frac{1}{m}$ ist uns schon bekannt, es soll nun noch p für die beiden Versuchsreihen Tabellen I und III a bestimmt werden.

	p in Tabelle 1	p in Tabelle 3 a		p in Tabelle 1	p in Tabelle 3 a
J_1	2·03	2·02	J_8	2·26	2·14
J_2	2·19	—	J_9	2·40	2·21
J_3	2·09	—	J_{10}	2·45	2·28
J_4	2·08	2·01	J_{11}	2·54	—
J_5	2·06	—	J_{12}	2·57	2·44
J_6	2·08	—	J_{13}	2·62	—
J_7	2·16	2·03	J_{14}	2·73	2·60

Bei dieser Art der Berechnung tritt also die obere Abweichung in noch deutlicherem Maasse hervor, als oben für $\frac{1}{m}$. Immerhin haben wir jetzt einen Ausdruck für die Abhängigkeit zwischen relativer Unterschiedsempfindlichkeit und Reizintensität, den wir später werden benutzen können.

$$U = a\sqrt[p]{R}$$

wo $a = \frac{1}{m}$ und p eine Zahl, die zunächst für die niedrigeren Reizintensitäten etwa zwei ist und für die höheren Intensitäten langsam bis etwa zu 2·7 aufsteigt.

Mit diesen Ergebnissen bin ich in besonders guter Uebereinstimmung mit Aubert, Charpentier und Ph. Breton.

Eine Versuchsreihe von Aubert[1] habe ich in der soeben beschriebenen Weise berechnet und habe dabei im Wesentlichen ein ähnliches Resultat bekommen, wie in meinen Versuchen.

Charpentier[2] fand, dass die relative Unterschiedsempfindlichkeit proportional der Quadratwurzel aus dem Reiz zunähme.

Etwas vorsichtiger drückt sich Ph. Breton[3] aus; er stellt ebenfalls eine Formel

---

[1] Graefe-Saemisch, S. 488.

[2] *Comptes rendus etc.* Paris, 9 Février 1885.

[3] *Ibidem.* 5 Septembre 1887.

$$H = CS^2$$

auf (wo H = absolute Beleuchtung, S die Unterschiedsempfindlichkeit), nennt aber C einen *coefficient personnel et momentané.*

Die höchsten absoluten Werthe der relativen Unterschiedsempfindlichkeit in den mitgetheilten Versuchen stimmen gut überein mit den Angaben von Helmholtz und Aubert. Helmholtz giebt $^1/_{167}$ an, Aubert $^1/_{186}$; der höchste Werth, den ich erreichte, war $^1/_{170}$.

Dabei ist jedoch folgendes zu bemerken. Zur Elimination der Fehlerquellen wurde eine Anzahl von Vorsichtsmaassregeln angewendet, welche zum Theil die absoluten Werthe der Unterschiedsempfindlichkeit erhöhten, zum Theil aber auch veränderten. So wurden diese Werthe — gegenüber den bisherigen Versuchen anderer Beobachter — dadurch erhöht, dass nach jeder Bestimmung eine Pause bis zur völligen Erholung des Auges eingehalten wurde, eine Maassregel, deren Einfluss, wie mir Versuche zeigten, ein recht beträchtlicher ist.

Von Vorsichtsmaassregeln, deren Anwendung eine Verringerung der absoluten Werthe der Unterschiedsempfindlichkeit verursachte, sind anzuführen: Erstens, um die Forderung zu erfüllen, dass das Auge ausschliesslich von den beiden in Betracht kommenden Reizen getroffen werde, wurde alles von den Seiten kommende Licht abgeblendet. Das Auge blickte aus dunklem Raum durch eine ziemlich enge Oeffnung nach dem erleuchteten Versuchsfeld hin. Ich bemerkte nun zufällig und dann wiederholentlich, dass die Unterschiedsempfindlichkeit stieg, wenn die Abblendungsvorrichtung entfernt wurde. Dieses eigenthümliche Verhalten des Auges ist vor Kurzem zuerst von Schmidt-Rimpler[1] beschrieben und genauer verfolgt worden. Nach Schmidt-Rimpler bringt die seitliche Beleuchtung der Sklera eine Erhöhung der centralen Unterschiedsempfindlichkeit hervor.

Zweitens hatte einen erniedrigenden Einfluss auf die fraglichen Werthe die Art und Weise, in welcher die Unterschiedsschwelle als Strecke bestimmt wurde. Diese Strecke hat zwei Endpunkte, den übermerklichen und den untermerklichen Punkt, welche von jedem Beobachter innerhalb gewisser Grenzen willkürlich bestimmt werden können, wenn nur diese Bestimmung für die sämmtlichen Versuche ein für allemal in gleicher Weise beibehalten wird. In meinen Versuchen waren nun die beiden Punkte folgendermaassen charakterisirt. Nähert man aus grosser Entfernung das schattengebende Licht langsam und gleichmässig bis zu einem gewissen Grade, so bemerkt man zunächst einen helleren Schein ohne alle bestimmte

---

[1] *Bericht der 19. Versammlung der ophthalmologischen Gesellschaft.* Heidelberg 1887. S. 76.

Contouren. Dieser Schein wird nicht stetig geschehen, sondern er flackert, man sieht ihn augenblicksweise, dann verschwindet er, um eventuell wieder aufzutauchen, und es bedarf nun noch einer ganz beträchtlichen Annäherung des Lichtes, bis der Schein diese beiden Eigenschaften der unbestimmten Contouren und des Flackerns verliert und nun wohl abgegrenzt mit scharfen Rändern und völlig stetig erscheint. Erst bei diesem Punkte habe ich den einen Endpunkt der Schwelle ein für allemal angenommen und den anderen Punkt da, wo bei allmählicher Entfernung des Lichtes der Eindruck so völlig zum Verschwinden kam, dass auch nicht das leiseste Aufflackern mehr wahrgenommen werden konnte.

Der höchste (mittlere) Werth, den ich für diesen letzteren untermerklichen Punkt erhielt, war $^1/_{198}$.

Die beiden Endpunkte der Schwellenstrecke lagen nun verhältnissmässig weit auseinander, etwa um $^1/_2$ bis $^1/_3$ der ganzen Unterschiedsintensität.

Es zeigte sich dabei noch folgendes Verhalten für diese beiden Punkte je gleicher Erregung. Nennt man nämlich relative Schwellenlänge einen Bruch, in dessen Zähler die Differenz der den beiden Endpunkten zugehörigen Unterschiedsintensitäten und in dessen Nenner die grössere dieser beiden Intensitäten steht, so schwankt dieser Bruch in meinen Beobachtungen etwa zwischen $^1/_2$ und $^1/_3$. Und zwar ist die relative Schwellenlänge etwa $^1/_3$ bei den höchsten Beleuchtungsintensitäten, um von da an, je mehr man zu den schwächsten Beleuchtungen fortschreitet, allmählich in $^1/_2$ überzugehen.

Die relative Schwellenlänge nimmt also in meinen Versuchen bei wachsender absoluter Beleuchtung ab.

Abhängigkeit der relativen Unterschiedsempfindlichkeit von der Reizstärke in der Peripherie der Netzhaut.

Die folgenden Versuche über die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes in der Peripherie der Netzhaut sollen die Untersuchung über die optische Unterschiedsempfindlichkeit vervollständigen; sie beziehen sich auf zwei Punkte der Peripherie, die folgendermaassen bestimmt waren; das linke Auge fixirte (an der bis dahin central beobachteten Scheibe vorbei) einen Punkt, der von der Mitte dieser Scheibe 7 cm nach links entfernt war; das rechte Auge einen Punkt, der 12 cm nach oben von der Scheibenmitte lag. Die übrigen Versuchsbedingungen wurden selbstverständlich genau beibehalten. Die aus je 6 Versuchsreihen für jedes Auge erhaltenen Mittelwerthe sind folgende:

Tabelle 5.

Intensität	a. Linkes Auge.		b. Rechtes Auge.	
	Abstände des Lichtes b	Relative Unterschiedsempfindlichk.	Abstände des Lichtes b	Relative Unterschiedsempfindlichk.
ϱ	—	$\frac{J_1}{193}$	—	$\frac{J_1}{163}$
J_1	20·2	1/4·9	20·3	1/5.0
J_3	29·1	1/10·2	27·3	1/9·0
J_5	34·8	1/14·6	33·0	1/13·1
J_7	44·6	1/24·1	38·1	1/17·6
J_8	47·6	1/27·3	41·4	1/20·6
J_9	53·4	1/34·4	44.7	1/24·1
J_{10}	57·3	1/59·6	47·8	1/27·6
J_{12}	58·3	1/41·0	48·9	1/28·8
J_{14}	59·8	1/43·1	49·9	1/30·1

Die vorstehenden Zahlen lassen sich mit den für das Centrum gewonnenen am besten vergleichen, wenn wir auch hier wieder uns der graphischen Aufzeichnung bedienen. Die peripheren Curven erwiesen sich dann den centralen sehr ähnlich; auch für die Peripherie steigt die Curve, mit der Concavität gegen die Abscisse, erst verhältnissmässig schnell und dann immer langsamer an; nur verlaufen die peripheren Curven im Allgemeinen viel flacher als die centralen, was sich natürlich einfach daraus erklärt, dass die relative Unterschiedsempfindlichkeit in der Peripherie nicht zu so hohen Werthen aufsteigt, wie im Centrum. Bei den stärksten Beleuchtungen beträgt nämlich die periphere Unterschiedsempfindlichkeit für unsere beiden Punkte nur $^1/_5$ und $^1/_6$ der centralen. Geht man von da aus zu schwächeren Beleuchtungen über, so zeigt sich nun in einem sehr grossen Gebiete eine viel bedeutendere Approximation an das Weber'sche Gesetz, als für die Macula. Ferner fallen die peripheren Curven bei abnehmender Beleuchtung nicht etwa parallel mit den centralen ab, sondern in einer viel langsameren Proportion, so dass sich die peripheren und centralen Werthe relativ um so mehr nähern, zu je geringerer Beleuchtungsstärke man übergeht. Kommt man endlich bei der Schwelle an, so ist sogar die Empfindlichkeit der beiden peripheren Punkte eine höhere als die des Centrums. Die peripheren Curven müssen also die centrale an irgend einer Stelle schneiden; der Schnittpunkt liegt sehr tief, nämlich nahe oberhalb der centralen absoluten Reizschwelle.

Ophthalmologisch kann man dieses Resultat ausdrücken: Die Macula ist im Vergleich zur Peripherie hemeralopisch.

Und in Bezug auf das Weber'sche Gesetz: Eine Approximation an das Weber'sche Gesetz findet um so weniger statt, je mehr man von der Peripherie her sich der Macula nähert.

Diese Ergebnisse sind in guter Uebereinstimmung mit einigen schon bekannten Thatsachen. Bekanntlich ist die relative Unterschiedsempfindlichkeit der Peripherie bei Tageslicht geringer, als die des Centrums; ferner weiss man, dass das Gesichtsfeld für Weiss sich auch bei sehr hohen Graden der Verdunkelung nicht einengt. Ein kleines weisses Quadrat wird bis in der äussersten Peripherie der Netzhaut bei fortschreitender Verdunkelung ungefähr ebenso lange wahrgenommen, als im Centrum des Auges. Nimmt man diese beiden Thatsachen zusammen, so geht schon hieraus hervor, dass die relative Unterschiedsempfindlichkeit in der Peripherie bei abnehmender Beleuchtung nicht in demselben Maasse, sondern in langsamerer Proportion abnehmen muss, wie im Centrum.

Dass ferner die Peripherie für sehr schwache Lichteindrücke empfindlicher ist, als die Macula, ist schon seit langer Zeit von den Astronomen bemerkt worden (vergl. z. B. Aubert, Graefe-Saemisch S. 496). Aubert hat die Hypothese aufgestellt, dass dieses Verhalten nicht daher rühre, dass die peripheren Netzhautzonen an sich empfindlicher für schwächere Lichteindrücke seien, sondern vielmehr daher, dass diese Zonen während des ganzen Lebens geringer beleuchtet werden, wie die Macula, und sich so an geringere Lichtintensitäten gewöhnt haben; wie ja auch die Macula durch langdauernden Aufenthalt im Halbdunkel für geringere Lichtstärken empfindlicher gemacht werden könnte. Dass es sich bei dem fraglichen Phaenomen jedenfalls nicht um vorübergehende Adaptationszustände von kurzer Dauer handle, habe ich durch folgenden Versuch festzustellen gesucht.

Eine cubische Kiste von etwa 1 m Seitenlänge, völlig lichtdicht und innen schwarz ausgeschlagen, hatte in der einen Seitenwand einen Querschnitt, in welchen der Kopf so gebracht werden konnte, dass das Auge von keinerlei Licht getroffen wurde. In der entgegengesetzten Wand war eine kleine Oeffnung, welche von aussen durch eine vor derselben verschiebbaren Leiste verschlossen war. In dieser Leiste waren eine Anzahl Diaphragmen aus Kupferblech mit sehr feinen Oeffnungen (bis zu 0·05 mm im Durchmesser). Durch diese Oeffnungen drang Licht von einer weissen beleuchteten Papierfläche, die ausserhalb der Kiste aufgestellt war, in das beobachtende Auge. Ich traf nun solche Vorkehrungen, dass meine Augen während acht Stunden von keinerlei Licht getroffen werden konnten und beobachtete darauf die kleinen Diaphragmen. Es zeigte sich auch jetzt, nach achtstündiger absoluter Ruhe der Augen, dass die Peripherie kleinere Punkte wahrzunehmen im Stande war, als die Macula.

Bei Versuchen im dunklen Raume, wie die eben geschilderten, laufen gewisse Erscheinungen mit unter, die für die Bestimmung der centralen Reizschwelle von Bedeutung sind und deshalb hier kurz erwähnt werden sollen.

Es ist anfänglich schwierig, im völlig dunklen Raum mit der Macula einen sehr lichtschwachen kleinen Punkt zu fixiren. Der Punkt scheint zunächst allerhand Sprünge, Zickzackbewegungen auszuführen, bald verschwindet er für einige Augenblicke gänzlich, bald eilt er wie eine Sternschnuppe mit grösserer oder geringerer Geschwindigkeit von dannen, ohne dass man sich irgendwie der Augenbewegungen dabei bewusst würde. Nach kurzer Uebung hört jedoch dieses Spiel, welches mit einem unangenehmen Gefühl absoluter Unbeholfenheit verbunden ist, völlig auf. Man erlernt dann zunächst den Punkt mit der Peripherie scharf fixiren nnd ihn zur Ruhe zwingen. Alsdann kommt man zu einem ruhigen Fixiren mit der Macula, indem man von der peripheren Fixirung aus den Blick gleichsam so auf den Punkt wirft, wie man dies im erleuchteten Raume thut, wenn man einen peripher wahrgenommenen Gegenstand schnell möglichst deutlich sehen will. Es zeigt sich alsdann, wenn der Punkt lichtschwach ist, ein höchst ungewöhntes Phaenomen: der Punkt, den man mit der Peripherie deutlich wahrnimmt, verschwindet, sobald man ihn scharf mit der Macula fixirt. Nach einiger Uebung kommt man dann dazu, diesen nachtblinden Maculafleck etwas genauer zu umschreiben, wobei sich zeigt, dass derselbe von ziemlich scharfen runden Rändern begrenzt wird.[1]

Es geht nun aus diesen Beobachtungen hervor, dass, um die centrale absolute Reizschwelle zu bestimmen, zunächst das Sehen im dunklen Raum besonders eingeübt werden muss, da man sonst regelmässig die Schwelle für irgend einen Punkt der Peripherie bestimmt, ohne sich dessen bewusst zu sein.

Eine Berechnung von $\frac{1}{m}$ für die Peripherie ergiebt folgende Werthe:

	Linkes Auge	Rechtes Auge
J_1	0·6524	0·6589
J_3	0·6482	0·6457
J_5	0·6258	0·6451
J_7	0·6479	0·6377
J_8	0·6382	0·6307
J_9	0·6319	0·6205
J_{10}	0·6274	0·6181
J_{12}	0·6179	0·6094
J_{14}	0·6087	0·6010

[1] Man kann einen Theil der beschriebenen Phaenomene auch sehr leicht am gestirnten Himmel beobachten, wenn man sehr lichtschwache Sterne abwechselnd peripher

Wir haben auch hier wieder in $\frac{1}{m}$ eine annähernd constante Zahl, welche ebenfalls die besprochene Abweichung zeigt. Ferner ist hier die mittlere Constante etwas kleiner als im Centrum; dies hängt damit zusammen, dass die Peripherie der Netzhaut eine grössere Approximation an das Weber'sche Gesetz aufzuweisen hat, als die Macula. Lässt man nämlich die Constante noch weiter abnehmen, bis sie den Werth 0·5 erreicht, so haben wir in der Formel:

$$Q = \left(\frac{1}{2}\right)^{1 + log\, R} = \frac{1}{2^{1 + log\, R}} = \frac{1}{2 \cdot 2^{log\, R}} = \frac{1}{2R} = \frac{c}{R}$$

das Weber'sche Gesetz ausgedrückt. Denn der Satz: die Erregbarkeit ist dem Reize umgekehrt proportional, ist, wie anderwärts[1] ausgeführt, eine directe Consequenz aus dem Weber'schen Gesetz. Dieses letztere Gesetz stellte also von unserer allgemeineren Formulirung denjenigen speciellen Fall dar, in welchem $m = 2$. In diesem Falle musste man die relative Unterschiedsempfindlichkeit von der Schwelle an demselben Werth beibehalten, was nicht zutrifft.

Kapitel II.

Abhängigkeit der relativen Unterschiedsempfindlichkeit von der Extension des Reizes.

Die fundamentalen Eigenschaften des Reizes sind Intensität, Extension und Dauer. Wie jede Art der Reizwirkung ist auch die relative Unterschiedsempfindlichkeit von einer jeden dieser drei Reizeigenschaften abhängig und das Verhältniss der relativen Unterschiedsempfindlichkeit zu dem vollen Reizmoment, $U = f(J, E, T)$, wird uns erst dann bekannt sein, wenn für alle möglichen Combinationen der drei Reizeigenschaften die entsprechenden Unterschiedsschwellen experimentell festgestellt sind. Indem wir hier von einer Variation der Reizdauer absehen, gehen wir jetzt zu dem zweiten Theil unserer Aufgabe über, zu einer Untersuchung des Einflusses, den die Reizextension auf die relative Unterschiedsempfindlichkeit ausübt.

Für den Fall der Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes würde sich die hier vorzunehmende Arbeit sehr einfach gestalten; man hätte den Einfluss der Extension auf die relative Unterschiedsempfindlichkeit nur bei

---

und central fixirt. So z. B. erscheinen die Plejaden deutlich heller, wenn man nicht mehr central sondern einige Grade an denselben vorbei fixirt.

[1] Physiologische Studien zur Psychophysik, a. a. O. S. 273.

einer einzigen beliebigen absoluten Beleuchtungsintensität festzustellen, um die Frage im Allgemeinen zu beantworten. Da aber, wie wir gesehen, die relative Unterschiedsempfindlichkeit von der absoluten Beleuchtungsstärke keineswegs unabhängig ist, so wird die Untersuchung nur dann eine vollständige sein können, wenn das Verhältniss der relativen Unterschiedsempfindlichkeit (U) zur Reizextension (E) bei allen möglichen Beleuchtungsintensitäten (J) bestimmt wird. Wir haben also, mit anderen Worten, jetzt die Abhängigkeit der U von zwei unabhängigen Variablen zu untersuchen, die Function

$$U = f(J, E),$$

und werden hierdurch auch die bisherigen Untersuchungen ergänzen, da in diesen der Einfluss der Intensität auf die relative Unterschiedsempfindlichkeit nur für eine einzige Extension bestimmt worden ist.

In dieser Einen Function mit zwei unabhängigen Variabeln sind nun eine Reihe von Einzelfunctionen enthalten (betreffend relative Unterschiedsempfindlichkeit, Sehschärfe, Lichtsinn u. s. w.), von welcher jede einzeln für sich schon eine zum Theil überaus zahlreiche Bearbeitung gefunden hat.[1] Gerade aber in dieser isolirenden Betrachtungsweise lag die Hauptschwäche der bisherigen Forschungen wie die des psychophysischen Experimentes überhaupt. So lange man die Erscheinungen aus ihrem natürlichen Zusammenhang herausschied und unter den verschiedenartigsten Versuchsbedingungen je einzeln für sich untersuchte, war es allerdings nicht möglich, ihrer innigen Beziehungen gewahr zu werden und zugleich begab man sich damit eines der werthvollsten Mittel, die Richtigkeit der Einzelergebnisse der Probe zu unterwerfen.

Im Gegensatz hierzu soll im Folgenden gerade auf den Zusammenhang der Erscheinungen das Hauptaugenmerk gerichtet sein und zwar soll dies durch eine experimentelle Darstellung der allgemeinen Function $U = f(J, E)$, in welcher jene Einzelfunctionen enthalten sind, ermöglicht werden.

Die Reizextension, die den Versuchen im ersten Kapitel zu Grunde lag, war gegeben durch eine kreisrunde Scheibe von 41 mm Durchmesser,

---

[1] 1. Ueber die Abhängigkeit der relativen Unterschiedsempfindlichkeit von der Reizintensität: vergl. die Referate von Aubert, Georg Elias Müller, Fechner.

2. Ueber die Abhängigkeit der relativen Unterschiedsempfindlichkeit von der Reizextension: vergl. Volkmann, *Physiologische Untersuchungen.* 1863. S. 51. — Aubert, *Physiologie der Netzhaut.* 1865. S. 82.

3. Ueber Sehschärfe: Referat von Uhthoff, Graefe's *Archiv für Ophthalmologie.* 1886. Bd. XXXII. S. 172—182.

4. Ueber Lichtsinn: Die Arbeiten von Bjerrum, Ole Bull, Wolffsberg, Graefe's *Archiv* u. s. w. Bd. XXIX, XXX, XXXI.

die dem Ausschnitte eines hinter dem weissen Papiere befindlichen schwarzen Cartons entsprach. Es wurden nun behufs Variirung der Extension noch sieben andere derartige Cartons angefertigt, deren Oeffnungen folgende Durchmesser und Flächeninhalte hatten.

	Durchmesser	Flächeninhalt relativ
E_1	0·50 mm	1·00
E_2	1·00 „	4·00
E_3	2·25 „	20·25
E_4	5·00 „	100·00
E_5	12·50 „	625
E_6	16·00 „	1024
E_7	29·00 „	3364
E_8	41·00 „	6724

Für eine jede dieser Extensionen wurde bei den verschiedenen Graden der absoluten Beleuchtung die zugehörige relative Unterschiedsempfindlichkeit genau in der Weise bestimmt, wie dies im vorigen Kapitel geschah. Der Gang der Versuche war folgender: An einem ersten Versuchstage wurde die relative Unterschiedsempfindlichkeit bei einer gleichbleibenden Beleuchtung $= J_{12}$ bestimmt, wobei von E_1 nach E_8 fortgeschritten wurde, an folgenden Versuchstagen je für J_{10}, J_7 u. s. w. Alsdann wurden die Versuchsreihen wiederholt, wobei von E_8 nach E_1 fortgeschritten wurde. (Ein Einfluss der Reihenfolge war übrigens bei den hier gebrauchten Vorsichtsmaassregeln in keiner Weise zu bemerken.)

So kam ich zunächst zu zwei Versuchsreihen für das ganze Gebiet, in welchem jeder Werth der relativen Unterschiedsempfindlichkeit das Mittel aus zwölf Einzelbestimmungen darstellt.

Tabelle 6.

a) Linkes Auge.

	J_1	J_3	J_4	J_7	J_{10}	J_{12}
E_1	—	—	—	—	—	1/4·4
E_2	—	—	—	1/4·1	—	1/12·2
E_3	—	—	1/4·2	1/10·4	1/32·7	1/35·8
E_4	—	1/4·0	1/10·2	1/21·5	1/45·9	1/49·9
E_5	1/3·4	1/6·8	1/13·3	1/33·3	1/55·9	1/62·8
E_6	1/4·0	1/8·6	1/14·4	1/34·9	1/62·0	1/63·2
E_7	1/4·8	1/10·8	1/17·7	1/45·7	1/83·2	1/92·3
E_8	1/6·0	1/14·3	1/25·1	1/59·6	1/97·7	1/110·4

b) Rechtes Auge.

	J_1	J_3	J_4	J_7	J_{10}	J_{12}
E_1	—	—	—	—	—	1/3·3
E_2	—	—	—	1/3·1	1/7·1	1/13·0
E_3	—	—	1/3·4	1/10·1	1/20·1	1/35·2
E_4	—	1/4·1	1/7·0	1/19·2	1/34·2	1/46·4
E_5	—	1/4·7	1/11·2	1/23·9	1/51·0	1/65·2
E_6	—	1/6·4	1/13·1	1/25·9	1/54·3	1/67·9
E_7	—	1/8·3	1/14·5	1/32·3	1/66·9	1/90·4
E_8	1/3·0	1/8·7	1/17·7	1/37·9	1/87·2	1/99·4

Die folgenden Versuchsreihen entstanden, als nach längerem Intervall (S. 96) die vorstehende Tabelle vervollständigt werden sollte. Der Einfluss der inzwischen erlangten Uebung erwies sich aber auch hier als so beträchtlich, dass die Zahlen der beiden Versuchsreihen unmöglich sich verschmelzen liessen. Immerhin können die beiden Reihen sich zur gegenseitigen Controle dienen.

Der Gang der Versuche war hier zunächst genau derselbe, wie für die soeben mitgetheilten; alsdann wurden aber zu den beiden Reihen, die bei je gleichbleibender Beleuchtung ausgeführt wurden, noch zwei Reihen mit gleichbleibender Extension hinzugefügt und aus diesen vier Reihen (mit je 24 Einzelbestimmungen für jeden Werth der relativen Unterschiedsempfindlichkeit) die folgenden Mittel gezogen:

Tabelle 7.

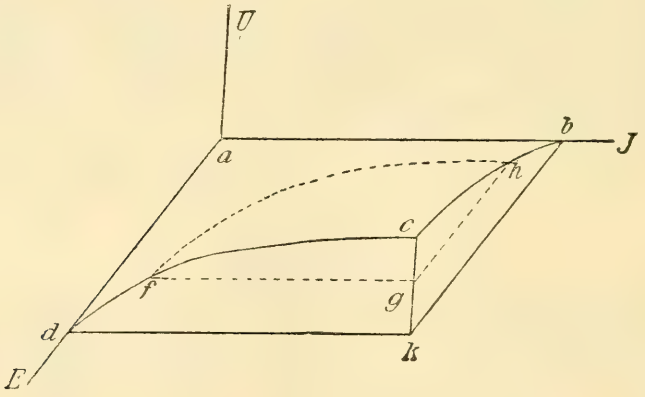
a) Linkes Auge.

	J_1	J_4	J_7	J_8	J_9	J_{10}	J_{12}	J_{14}
E_1	—	—	—	—	1/3·8	1/4·9	1/6·5	1/8·5
E_2	—	—	1/3·4	1/5·6	1/10·1	1/12·4	1/17·9	1/23·8
E_3	—	1/4·0	1/12·3	1/15·7	1/25·4	1/34·1	1/39·1	1/46·7
E_4	—	1/9·8	1/23·8	1/26·0	1/41·0	1/47·8	1/57·2	1/68·9
E_5	1/3·1	1/17·0	1/37·2	1/44·5	1/66·1	1/80·6	1/85·6	1/101·3
E_6	1/3·9	1/18·7	1/39·3	1/52·0	1/73·2	1/92·2	1/102·2	1/124·0
E_7	1/5·2	1/23·8	1/52·5	1/62·6	1/85·0	1/105·2	1/116·9	1/136·4
E_8	1/7·5	1/29·6	1/64·7	1/80·2	1/118·7	1/134·7	1/152·4	1/170·0

b) Rechtes Auge.

	J_1	J_4	J_7	J_8	J_9	J_{10}	J_{12}	J_{14}
E_1	—	—	—	—	1/2·7	1/3·6	1/5·3	1/6·9
E_2	—	—	1/3·1	1/5·1	1/8·0	1/10·0	1/15·4	1/20·7
E_3	—	1/3·7	1/10·8	1/13·4	1/21·7	1/24·5	1/37·0	1/43.3
E_4	—	1/8·5	1/22·7	1/25·2	1/35·4	1/44·3	1/55·6	1/63·8
E_5	—	1/16·0	1/33·7	1/42·2	1/60·4	1/69·2	1/83·0	1/93·6
E_6	1/3·6	1/17·7	1/34·7	1/45·8	1/65·2	1/82·7	1/96·0	1/113·5
E_7	1/4·9	1/22·8	1/46·3	1/56·2	1/76·4	1/97·0	1/110·4	1/128·0
E_8	1/7·1	1/28·2	1/59·1	1/76·2	1/106·1	1/125·2	1/139·9	1/154·0

Eine graphische Darstellung der vorstehenden Versuchsresultate wird den Ueberblick erleichtern. Wir haben die relative Unterschiedsempfindlichkeit (U) als abhängige von zwei unabhängigen Variablen, der Reizintensität (J) und der Reizextension (E). Wir tragen nun die gewonnenen Zahlen in ein Coordinatensystem ein, dessen eine wagerechte Axe die Intensität, dessen andere wagerechte Axe die Extension bedeutet, während auf der senkrechten Axe die Werthe der U angegeben werden. Diese Werthe sind dann Punkte einer Fläche $a\,b\,c\,d$, die in nachstehender Figur schematisch dargestellt ist.



Um die Gestaltung dieser Fläche zu untersuchen, legen wir drei Arten von Schnitten durch dieselbe und zwar Schnitte

1. parallel der UJ-Ebene,
2. parallel der UE-Ebene und
3. parallel der JE-Ebene.

1. Die Schnitte sub 1 zeigen die Abhängigkeit der relativen Unterschiedsempfindlichkeit bei gleichbleibender Extension, also die Function $U = f(J, E = \text{const.})$. Ein solcher Schnitt ist in der Figur bei dck angedeutet. Diese Schnitte werden im Folgenden der Kürze halber auch als „wagerechte Schnitte" bezeichnet werden.

2. Die Schnitte sub 2 stellen die Abhängigkeit der relativen Unterschiedsempfindlichkeit von der Extension bei gleichbleibender absoluter Intensität dar, also die Function $U = f(E, J = \text{const.})$, z. B. bck in der Figur, kurz auch als „senkrechte Schnitte" bezeichnet.

3. Die Schnitte sub 3 (z. B. fhg in der Figur) ergeben in der Fläche Linien von gleicher relativer Unterschiedsempfindlichkeit; sie zeigen das Verhalten der Extension zur Intensität bei gleicher relativer Unterschiedsempfindlichkeit oder bei gleichbleibendem relativen Unterschied. Diese Linien zeichnen also mit anderen Worten die Abhängigkeit der Sehschärfe (S) von der absoluten Beleuchtung, $S = f(J)$, und werden im Folgenden auch kurz als „Sehschärfelinien" bezeichnet.

---

1. Abhängigkeit der relativen Unterschiedsempfindlichkeit von der absoluten Beleuchtungsintensität bei gleichbleibender Extension.

Die hierher gehörigen Versuchsresultate dienen, wie schon erwähnt, zur Vervollständigung und Verallgemeinerung der Resultate des ersten Kapitels; dort hatten wir die Abhängigkeit der relativen Unterschiedsempfindlichkeit von der absoluten Intensität nur für eine einzige Extension (E_8) festzustellen und das Ergebniss einer genaueren Formulirung zu unterwerfen gesucht. Es frägt sich nun, welchen Einfluss auf die Gestaltung jener Function $U = f(J, E = 8)$ eine Aenderung der Extension ausübt, d. h. mit anderen Worten, in welchem Verhältniss die einzelnen Schnitte $U = f(J, E = 8)$, $U = f(J, E = 7)$ u. s. w. zu einander stehen. Um nun die einzelnen Schnitte miteinander vergleichen zu können, setzen wir den Werth der relativen Unterschiedsempfindlichkeit, der für jede der acht Extensionen bei der höchsten absoluten Beleuchtung (J_{14}) gefunden wurde, gleich Eins und beziehen darauf für jede einzelne Curve die Abnahme der relativen Unterschiedsempfindlichkeit bei abnehmender Beleuchtungsintensität, wodurch für die Tabelle 7, an welche wir uns hier hauptsächlich halten werden, folgende Zahlen resultiren:

Zu Tabelle 7a.

	J_1	J_4	J_7	J_8	J_9	J_{10}	J_{12}	J_{14}
E_1	—	—	—	—	0·45	0·58	0·77	1·00
E_2	—	—	0·14	0·23	0·42	0·52	0·75	1·00
E_3	—	0·09	0·26	0·34	0·54	0·73	0·84	1·00
E_4	0·02	0·11	0·35	0·38	0·53	0·69	0·83	1·00
E_5	0·03	0·17	0·37	0·41	0·65	0·80	0·85	1·00
E_6	0·03	0·15	0·32	0·42	0·58	0·74	0·82	1·00
E_7	0·04	0·18	0·39	0·46	0·62	0·77	0·86	1·00
E_8	0·044	0·17	0·38	0·47	0·69	0·79	0·89	1·00

Zu Tabelle 7b.

	J_1	J_4	J_7	J_8	J_9	J_{10}	J_{12}	J_{14}
E_1	—	—	—	—	0·39	0·53	0·76	1·00
E_2	—	—	0·15	0·25	0·39	0·48	0·74	1·00
E_3	—	0·09	0·25	0·31	0·50	0·57	0·85	1·00
E_4	—	0·13	0·36	0·39	0·56	0·69	0·87	1·00
E_5	0·02	0·17	0·36	0·45	0·65	0·74	0·88	1·00
E_6	0·03	0·16	0·30	0·40	0·57	0·73	0·85	1·00
E_7	0·04	0·18	0·36	0·44	0·59	0·76	0·86	1·00
E_8	0·05	0·18	0·38	0·49	0·68	0·81	0·91	1·00

Die Zahlen in den wagerechten Columnen geben also hier die Proportionen an, in welchen die relative Unterschiedsempfindlichkeit für jede einzelne Extension bei abnehmender Beleuchtung sinkt.

Lesen wir nun diese Zahlen in den einzelnen senkrechten Columnen von unten nach oben, so finden wir zunächst eine Reihe von nahezu gleichen Zahlen, und erst wenn wir weiter nach oben zu kleineren Extensionen übergehen, tritt eine deutliche Verminderung der bis dahin beinahe constant gebliebenen Zahl ein. Es zeigt sich ferner, dass diese Verminderung um so eher, d. h. bei um so geringeren Graden der Verdunkelung, eintritt, je weiter man nach oben die Zahlen von rechts nach links liest, also zu je geringeren Extensionen man übergeht.

Das heisst also: In einem gewissen Gebiet grösserer Intensitäten und Extensionen nimmt die relative Unterschiedsempfindlichkeit bei einer Abnahme der absoluten Beleuchtungsintensität in nahezu constanter Proportion ab, von welcher Extension man auch ausgehen möge. Die ungefähre Umgrenzung dieses Gebietes ist in der Tabelle durch eine dickere Linie bemerkbar gemacht. Man erhält jedoch aus den Zahlen den Eindruck, dass

der Einfluss der Extension auch in diesem Gebiete nicht gleich Null sei, sondern nur ein so geringer, dass er durch die unvermeidlichen Fehler nahezu verdeckt wird, so dass wir also für das ganze Gebiet sagen müssen:

Die relative Unterschiedsempfindlichkeit nimmt bei Verdunkelung im Allgemeinen in um so schnellerer Proportion ab, je kleiner die Extension des beobachteten Objectes ist. Dieser Einfluss der Extension auf die Unabhängigkeit der relativen Unterschiedsempfindlichkeit von der absoluten Beleuchtungsintensität ist für grössere Extensionen ein beinahe verschwindend geringer, so lange die Verdunkelung nicht sehr bedeutende Grade erreicht hat; er nimmt aber um so schneller zu, zu je kleineren Extensionen man alsdann übergeht.

Oder, wenn wir dies Resultat mit Bezug auf die graphischen Verhältnisse ausdrücken:

Die Curven, welche von den einzelnen wagerechten Schnitten in der Fläche erzeugt werden, fallen im Allgemeinen nach der Extensionsaxe hin relativ um so steiler ab, je kleiner die Extension ist, durch welche man den Schnitt gelegt hat. Bei grossen Extensionen ist dieser Einfluss der Extension auf die verhältnissmässige Steilheit der Curve ein nahezu verschwindend geringer, so lange man nicht der Extensionsaxe sehr nahe kommt; er tritt aber um so rapider hervor, zu je kleineren Extensionen man alsdann übergeht.

---

2. Abhängigkeit der relativen Unterschiedsempfindlichkeit von der Extension bei gleichbleibender absoluter Beleuchtungsintensität.

Auch hier soll wieder zunächst einer der Schnitte genauer betrachtet und dann mit den übrigen verglichen werden. Zeichnen wir den ersten Schnitt bei J_{14} in der üblichen Weise auf (Flächeninhalt der Extension als Abscisse, U als Ordinate), so resultirt eine krumme, nach unten concave Linie, die von der kleinsten Extension nach der grössten hin zunächst verhältnissmässig steil und dann immer weniger steil aufsteigt. D. h. also:

Bei wachsender Extension nimmt die relative Unterschiedsempfindlichkeit zunächst verhältnissmässig schnell und dann immer langsamer zu, zu je grösseren Extensionen man übergeht.

Das allgemeine Verhältniss der relativen Unterschiedsempfindlichkeit zur Extension des Reizes lässt sich also auffallender Weise in denselben Worten ausdrücken, wie das Verhältniss der relativen Unterschiedsempfindlichkeit zur absoluten Beleuchtungsintensität, was veranlasst, nachzusehen, ob vielleicht auch die genauere Formulirung für beide Functionen in gleicher Weise gültig ist.

Zu diesem Behufe haben wir unseren Schnitt nach der oben motivirten Formel $U = a\sqrt[p]{E}$ zu berechnen; da p und a von einander abhängig sind, genügt eine Bestimmung von p. Um den Vergleich durchführen zu können, ertheilen wir der Extension E_8 denselben Werth, welcher in jener Berechnung der Intensität J_{14} zukam, da ja eben $E_8 J_{14}$ der gemeinsame Punkt dieser Vergleichung ist und dort die relative Unterschiedsempfindlichkeit sowohl für die eine als die andere Function denselben Werth hat. Die übrigen sieben Extensionen sind alsdann auf diesen Werth zu beziehen.

Die Berechnung ergiebt nun für p folgende Werthe (aus Tabelle 7a):

E_1	2·23	E_5	2·40
E_2	2·00	E_6	2·41
E_3	2·06	E_7	2·58
E_4	2·22	E_8	2·60

Vergleicht man diesen Werth von p mit den S. 104 gewonnenen p-Werthen, so ergiebt sich eine recht vollständige Uebereinstimmung, woraus also hervorgeht: Die relative Unterschiedsempfindlichkeit steht zu der Reizextension in dem gleichen oder doch jedenfalls in einem sehr ähnlichen Abhängigkeitsverhältniss, wie zur Reizintensität.

Doch darf dieser Satz noch nicht allgemein für das ganze Gebiet ausgesprochen werden, da bis jetzt nur ein einziger der senkrechten Schnitte in Betracht gezogen worden ist. Wir haben also jetzt die anderen sieben senkrechten Schnitte mit diesem ersten zu vergleichen, was nun in derselben Weise geschieht, wie die Vergleichung der einzelnen wagerechten Schnitte unter einander. Wir ertheilen der relativen Unterschiedsempfindlichkeit die wir für jede Reizintensität bei der grössten Extension E_8 gefunden haben, den Werth Eins und beziehen auf diesen Werth die Abnahme der relativen Unterschiedsempfindlichkeit bei abnehmender Extension, wodurch wir zu folgenden Zahlen kommen:

Zu Tabelle 7 a.

	J_1	J_4	J_7	J_8	J_9	J_{10}	J_{12}	J_{14}
E_1	—	—	—	—	0·03	0·04	0·04	0·05
E_2	—	—	0·05	0·08	0·08	0·09	0·12	0·14
E_3	—	0·14	0·19	0·20	0·21	0·25	0·26	0·27
E_4	—	0·33	0·37	0·32	0·35	0·35	0·38	0·41
E_5	0·40	0·57	0·58	0·58	0·56	0·60	0·56	0·60
E_6	0·52	0·63	0·61	0·65	0·62	0·68	0·67	0·73
E_7	0·69	0·81	0·82	0·78	0·72	0·78	0·77	0·80
E_8	1·00	1·00	1·00	1·00	1·00	1·00	1·00	1·00

Zu Tabelle 7 b.

	J_1	J_4	J_7	J_8	J_9	J_{10}	J_{12}	J_{14}
E_1	—	—	—	—	0·03	0·03	0·04	0·04
E_2	—	—	0·05	0·07	0·08	0·08	0·11	0·13
E_3	—	0·13	0·18	0·18	0·20	0·20	0·26	0·28
E_4	—	0·32	0·37	0·33	0·33	0·36	0·40	0·41
E_5	0·32	0·59	0·57	0·55	0·57	0·55	0·59	0·61
E_6	0·50	0·66	0·58	0·60	0·61	0·66	0·69	0·74
E_7	0·69	0·85	0·78	0·74	0·72	0·77	0·79	0·83
E_8	1·00	1·00	1·00	1·00	1·00	1·00	1·00	1·00

Die Verhältnisse sind hier, wie man sogleich sieht, den bei den wagerechten Schnitten beschriebenen vollständig analog. Auch hier findet sich, wenn man die Zahlen in den einzelnen wagerechten Reihen von den grösseren nach den kleineren Intensitäten hin liest, eine Zahl, die zunächst nahezu constant bleibt und erst, wenn man zu sehr kleinen Extensionen und Intensitäten übergeht, deutlich kleiner wird. Diese Verminderung tritt bei um so geringerer Abnahme der Extension auf, von je kleineren Intentensitäten man ausgeht. Also:

In einem gewissen Gebiete grösserer Extensionen und Intensitäten nimmt die relative Unterschiedsempfindlichkeit bei einer Abnahme der Extension in nahezu constanter Proportion ab, von welcher Beleuchtungsintensität man auch ausgehen möge.

Das fragliche Gebiet ist auch hier in der Tabelle durch eine dickere Linie ungefähr umgrenzt. Ferner erkennt man übrigens auch in diesem Gebiete, dass die senkrechten Curven in ihrer Gestaltung nicht völlig unabhängig sind von der Intensität; der Einfluss derselben ist aber so gering, dass er kaum die Grösse der nothwendigen Fehler überragt, so dass man also in Beziehung auf das Gesammtgebiet sagen muss:

Die relative Unterschiedsempfindlichkeit nimmt bei einer Abnahme der Extension in um so geschwinderer Proportion ab, je geringer die absolute Beleuchtung ist, von der man ausgeht. Dieser Einfluss der absoluten Beleuchtung auf die Abhängigkeit der relativen Unterschiedsempfindlichkeit von der Extension ist für starke Lichtintensitäten ein beinahe verschwindend geringer, so lange die Abnahme der Extension nicht sehr bedeutende Grade erreicht hat; er nimmt aber um so schneller zu, zu je kleineren Extensionen man alsdann übergeht.

Der Einfluss der Intensität auf die Abhängigkeit der relativen Unterschiedsempfindlichkeit von der Extension äussert sich also in derselben Weise, wie der Einfluss der Extension

auf die Abhängigkeit der relativen Unterschiedsempfindlichkeit von der Intensität.

Das für die wagerechten Schnitte Gesagte gilt auch wörtlich für die senkrechten, sobald man nur die beiden Worte Extension und Intensität mit einander vertauscht. Und in diesem Sinne, aber auch nur in diesem Sinne darf also jetzt der oben für einen senkrechten und einen wagerechten Schnitt ausgesprochene Satz für die ganze Fläche verallgemeinert werden:

Die relative Unterschiedsempfindlichkeit steht zu der Reizextension in demselben Abhängigkeitsverhältniss, wie zur Reizintensität.

Bevor wir nun zu einer Betrachtung der noch übrig bleibenden, dritten Schnittformen (der Sehschärfecurven) übergehen, soll das Verhältniss, in welchem die beiden bisher betrachteten Schnittformen zu einander stehen, noch etwas genauer untersucht werden. Denn es ist ohne Weiteres klar, dass die Gestaltung dieser letzteren Curven durch das Verhältniss der beiden ersten zu einander schon vollkommen bestimmt sein muss.

Wir haben gesehen, dass die wagerechten sowohl als die senkrechten Schnitte sich annähernd durch die Formeln $U = a\sqrt[p]{J}$ und $U = a\sqrt[p]{E}$ ausdrücken lassen; wenn nun in diesen Formeln a und p für alle Werthe von J und E constant wären, so würde die Gestalt der Sehschärfecurven eine höchst einfache sein. Dann stünde die relative Unterschiedsempfindlichkeit zu allen Werthen der Extension genau in demselben Verhältniss, wie zu allen Werthen der Intensität; sie würde constant bleiben, wenn das Product aus der Extension in die absolute Beleuchtung constant bliebe, wenn $JE = \text{const}$. Die Sehschärfecurven würden in unserem Coordinatensystem einfach gleichseitige Hyperbeln sein.

Nun hat sich aber gezeigt, dass jenes p für grössere Extensionen und Intensitäten einen anderen und zwar höheren Werth annimmt als für die kleinen Extensionen und Intensitäten; setzt sich also das Product JE z. B. aus einer kleinen Extension und einer grossen Intensität zusammen, so kann eine Aenderung der Extension nicht den gleichen Einfluss auf die Unterscheidbarkeit des Objects ausüben, wie die proportionale Aenderung der Intensität, weil die relative Unterschiedsempfindlichkeit mit kleinen Extensionen schneller zunimmt, als mit grossen Intensitäten. Es geht also schon daraus hervor, dass die Sehschärfecurven von der Hyperbel abweichen müssen und dass diese Abweichungen auf demselben Umstande beruhen, den wir bereits als obere Abweichung von den Formeln $U = a\sqrt[p]{J}$ und $U = a\sqrt[p]{E}$ kennen gelernt haben. Eine Berechnung einer grösseren Anzahl von Werthen der mitgetheilten Tabellen ergiebt nun, wie vorauszusehen war:

Für diejenigen Combinationen von J und E, für welche p denselben Werth hat (also im Allgemeinen, wenn kleine J mit kleinen E, mittlere J mit mittleren E u. s. w. combinirt sind), wird die relative Unterschiedsempfindlichkeit ziemlich genau in derselben Weise beeinflusst, mag man nun die absolute Beleuchtung oder in derselben Proportion die Extension des Objectes ändern. Setzt sich aber der Reiz aus einer kleinen Extension und einer grossen Intensität zusammen oder umgekehrt, so übt die Aenderung des kleinen Componenten einen grösseren Einfluss auf die relative Unterschiedsempfindlichkeit aus, als eine proportionale Aenderung des grossen Componenten.

Damit sind wir nun vorbereitet, die Gestaltung der Sehschärfelinien aus dem Zusammenhang des bisher Mitgetheilten verstehen zu können.

3. Verhalten der Extension des Objectes zur absoluten Beleuchtung bei gleichbleibendem relativen Unterschied. (Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungsstärke.)

Die Sehschärfe wird gewöhnlich gemessen durch die lineare Grösse der kleinsten schwarzen Buchstaben, welche, auf weissem Grunde, in gegebener Distanz noch gelesen werden können. Da die Schwierigkeiten, welche die Buchstaben in Folge ihrer zusammengesetzten Form bieten, in den sämmtlichen Nummern einer guten Sehschärfescala gleichgehalten werden, so ist die einzige Variable, die hierbei zur Messung benutzt wird, die Extension des Objectes, und die gewöhnliche Sehschärfe der Ophthalmologen ist also die optische Unterscheidungsfähigkeit oder Unterschiedsempfindlichkeit, gemessen durch die Extension des Objectes bei sehr grossem (und natürlich gleichbleibendem) relativem Unterschied und bei gleichbleibender relativer Beleuchtung.

Die Abhängigkeit dieser Sehschärfe von der Beleuchtungsstärke ist nun nur ein specieller Fall der Schnittformen, die wir hier zu betrachten haben, und wir werden bald sehen, wie und wo diese Linien in unserer Fläche verlaufen und in welchem Zusammenhange sie mit den allgemeinen Erscheinungen der Unterschiedsempfindlichkeit stehen.

Die fraglichen Curven lassen sich nicht ohne Weiteres aus den mitgetheilten Zahlen herauslesen; zu ihrer Construction ist es nöthig, ein graphisches Verfahren zu Hülfe zu nehmen. Es wurden deshalb die sämmtlichen senkrechten Schnitte derart auf Millimeterpapier aufgetragen, dass die Abscissen für die lineare Extension und die Ordinaten für die Werthe des relativen Unterschieds bestimmt waren. Durch Verbindung der Punkte entstanden alsdann acht Curven (die schon als senkrechte Schnitte betrachtet

worden sind, nur dass dort die Extension als Fläche aufgezeichnet war; jeder beliebige, mit der Ordinate parallele Schnitt ergab alsdann für einen und denselben relativen Unterschied die zusammengehörigen Werthe der Extension und der Intensität an.

In der folgenden Tafel sind neun solche Schnitte zusammengestellt; in der ersten senkrechten Reihe stehen die Werthe des relativen Unterschiedes, in den wagerechten Reihen die Werthe der linearen Extension, wie sie den übergeschriebenen absoluten Beleuchtungsintensitäten entsprechen. Die Werthe der Extension sind in Millimetern des Objectdurchmessers angegeben; das Object wurde, wie bekannt, auf 52 cm Distanz beobachtet.

Rel. Unterschied	J_4	J_7	J_8	J_9	J_{10}	J_{12}	J_{14}
1/8	4·60	1·80	1·30	0·82	0·70	0·56	0·49
1/10	5·00	2·20	1·60	1·00	0·83	0·65	0·54
1/20	20·20	3·80	2·90	1·85	1·50	1·10	0·87
1/30	41·00	8·00	6·50	3·15	2·07	1·72	1·27
1/40	—	16·00	10·70	4·90	3·50	2·55	1·85
1/50	—	28·00	15·00	8·50	5·50	4·20	2·75
1/60	—	36·80	27·00	11·30	8·50	5·70	3·40
1/80	—	—	—	21·50	12·50	11·50	7·70
1/100	—	—	—	35·00	24·00	16·00	12·50

Diese Zahlen, die also das Verhältniss der linear gemessenen Sehschärfe zur absoluten Beleuchtung bei verschiedenen relativen Unterschieden darstellen, müssen für unsere Zwecke in's Quadrat erhoben und auf ihre Werthe bei J_7 bezogen werden. (Bestimmungen unterhalb dieser Reizintensität konnten mittels des Apparates nur für einige wenige sehr starke relative Unterschiede ausgeführt werden.) Das Resultat ist in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

	J_7	J_8	J_9	J_{10}	J_{12}	J_{14}
1/8	1·000	0·522	0·207	0·151	0·097	0·074
1/10	1·000	0·529	0·206	0·146	0·087	0·060
1/20	1·000	0·584	0·238	0·156	0·084	0·053
1/30	1·000	0·660	0·155	0·066	0·046	0·025
1/40	1·000	0·450	0·094	0·048	0·025	0·013
1/50	1·000	0·287	0·092	0·037	0·023	0·010
1/60	1·000	0·538	0·094	0·053	0·024	0·008
Reciproca der Intensität	1·000	0·380	0·106	0·051	0·017	0·005

Die verschiedenartigen Operationen, durch welche wir zu der vorstehenden Tafel gekommen sind, müssen natürlich die Genauigkeit beeinträchtigen; wenn sich dieselbe zu einer genauen Betrachtung nicht eignet, so dürfte sie doch wenigstens einen allgemeinen Einblick gestatten.

Lesen wir die Zahlen in den einzelnen senkrechten Reihen von oben nach unten, so zeigt sich, dass dieselben langsam abnehmen und sich zugleich mehr und mehr den Werthen nähern, die in der untersten wagerechten Reihe für die Reciproca der Reizintensität angegeben sind.

Die Sehschärfecurven haben also, können wir im Allgemeinen sagen, Aehnlichkeit mit Hyperbeln, weichen aber von diesen Linien besonders darin ab, dass bei den höheren Werthen der absoluten Beleuchtung die Extension in langsamerer Proportion abnimmt, als die Reizintensität zunimmt.

Was das Verhältniss der einzelnen Curven zu einander betrifft, so weit wir dasselbe hier überhaupt überblicken können, so richtet sich die Gestaltung jeder Curve nach dem zu Grunde liegenden relativen Unterschied. Bei grossem relativen Unterschied ist die soeben erwähnte Abweichung in dem allerdings etwas beschränkten Gebiet der hier vorliegenden Intensitäten am meisten ausgesprochen; sie wird stetig geringer, zu je kleineren relativen Unterschieden man fortschreitet.

Mit diesem Befunde stimmt auch die Curve überein, welche eine Untersuchung der Sehschärfe mittels der Jäger'schen Schriftproben ergiebt, wie die folgende Zusammenstellung zeigt.

Tabelle 8.

Absolute Beleuchtungsintensität	Reciproca der absoluten Beleuchtungsintensität	Quadrate der Extension der linearen Buchstabengrösse relativ
J_1	1·000	1·000
J_2	0·2778	0·426
J_3	0·1351	0·160
J_4	0·0666	0·0527
J_5	0·0454	0·0346
J_6	0·0263	0·0201
J_7	0·0130	0·0095
J_8	0·0049	0·0062
J_9	0·0014	0·00408
J_{10}	0·00067	0·0026
J_{11}	0·00032	0·00203
—	—	—
J_{14}	0·00006	0·0016

Auch hier nimmt die Extension, wenn man von niederen Lichtintensitäten zu höheren übergeht, zunächst ungefähr in demselben Verhältniss ab, in welchem die Intensität zunimmt (etwa bis zu J_3). Schreitet man aber dann zu höheren Intensitäten fort, so nimmt nun die Extension fortwährend in geringeren Proportionen ab, als es der Intensitätszunahme entsprechen würde.

Verhältniss der wagerechten Schnitte zu den Sehschärfecurven.

Wir haben bis jetzt zuerst die wagerechten und senkrechten Schnitte und alsdann das zwischen beiden Schnittformen bestehende Verhältniss besprochen, welches einen besonderen Ausdruck in den dritten Schnittformen, den Sehschärfecurven, gefunden hat. Es soll nun noch das Verhältniss dieser letzten Schnittart zu der ersten (wagrechten) etwas genauer in's Auge gefasst werden.

In einer vorhergehenden Arbeit (a. a. O., S. 410) bin ich zu dem Resultate gekommen, dass die linear gemessene Sehschärfe für Jäger'sche Schrift von der absoluten Beleuchtungsstärke in nahezu demselben Abhängigkeitsverhältniss steht, wie die relative Unterschiedsempfindlichkeit für die Extension E_8. Es sind dort die Zahlen für das linke Auge angegeben worden. Daran sind nun zur Vervollständigung die folgenden Versuchsergebnisse 1. für das Centrum des rechten Auges und 2. für die beiden oben erwähnten (S. 107) Punkte der Peripherie anzuschliessen.

Tabelle 9.

Verhältniss zwischen relativer Unterschiedsempfindlichkeit und Sehschärfe.

Rechtes Auge.

	Sehschärfe in linearer Buchstabengrösse	Daraus Sehschärfe relativ	Relative Unterschiedsempfindlichkeit. Relativ. (Aus Tab. II.)
J_{14}	0·80	1·00	1·00
J_{13}	0·82	0·98	0·93
J_{12}	0·86	0·93	0·82
J_{11}	0·92	0·87	0·75
J_{10}	1·06	0·75	0·73
J_9	1·26	0·64	0·57
J_8	1·56	0·51	0·40
J_7	2·25	0·35	0·34
J_6	2·72	0·29	0·29
J_5	3·25	0·25	0·21
J_4	3·75	0·21	0·18
J_3	5·15	0·15	0·11
J_2	7·00	0·11	0·10
J_1	18·00	0·044	0·05

Diese Zahlen, sowie die folgenden peripher gewonnenen sind die Mittel aus je vier Versuchsreihen.

Peripherie.

Zur Bestimmung der peripheren Sehschärfe konnten die Jäger'schen Buchstaben nicht benutzt werden, weil auch die grössten Nummern der Scala bei den niedersten Intensitäten, welche hier zu untersuchen waren, nicht mehr erkannt werden. Es wurden deshalb runde Punkte benutzt, die mit möglichst schwarzer Tusche auf weissem Papiere entworfen waren und zwar bestand die Scala aus zwanzig verschiedenen Nummern solcher Punkte, deren Grösse von 0·32 bis 7·00 mm variirte.

Diese Proben wurden nun mit denselben beiden Punkten der Peripherie beobachtet, für welche in Tabelle V die relative Unterschiedsempfindlichkeit bestimmt worden ist.

Tabelle 10.

a) Linkes Auge.

	Sehschärfe in linearer Punktgrösse	Daraus Sehschärfe relativ	Relative Unterschiedsempfindlichkeit. Relativ (Aus Tabelle 5 a)
J_{14}	0·46	1·00	1·00
J_{13}	0·48	—	—
J_{12}	0·50	0·92	0·95
J_{11}	0·50	—	—
J_{10}	0·50	0·92	0·92
J_9	0·55	0·84	0·80
J_8	0·79	0·58	0·63
J_7	0·89	0·52	0·56
J_6	1·00	—	—
J_5	1·16	0·39	0·34
J_4	1·59	—	—
J_3	2·02	0·23	0·24
J_2	3·22	—	—
J_1	5·87	0·08	0·11

b) Rechtes Auge.

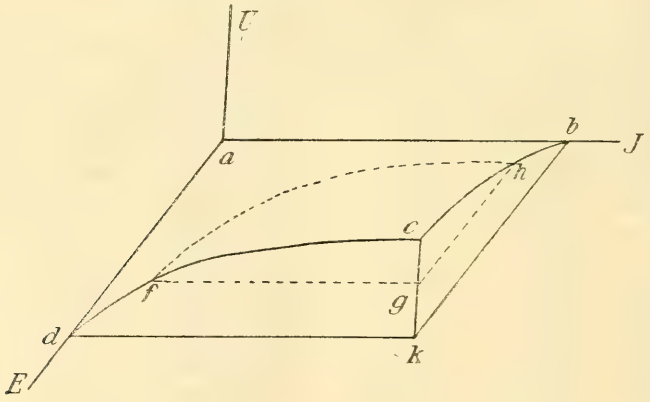
	Sehschärfe in linearer Punktgrösse	Daraus Sehschärfe relativ	Relative Unterschiedsempfindlichkeit. Relativ. (Aus Tabelle 5 a)
J_{14}	0·76	1·00	1·00
J_{13}	0·79	—	—
J_{12}	0·80	0·95	0·96
J_{11}	0·81	—	—
J_{10}	0·81	0·94	0·92
J_9	0·96	0·79	0·80
J_8	1·12	0·68	0·69
J_7	1·39	0·55	0·58
J_6	1·62	—	—
J_5	2·00	0·38	0·44
J_4	2·20	—	—
J_3	3·22	0·24	0·30
J_2	3·50	—	—
J_1	5·40	0·14	0·16

Der Parallelgang der Sehschärfe mit der Unterschiedsempfindlichkeit tritt also in den beiden Punkten der Peripherie ebenso deutlich hervor, wie im Centrum des Auges, wodurch nun das merkwürdige Verhältniss zwischen einer bestimmten Sehschärfecurve und einem bestimmten wagerechten Schnitte experimentell gut erhärtet ist. Er frägt sich nun, wie

sich die übrigen Sehschärfecurven und wagerechten Schnitte zu einander verhalten.

Wie wir oben gesehen haben, sind die einzelnen Sehschärfecurven verschieden gestalltet je nach dem ihnen zu Grunde liegenden relativen Unterschied und ebenso auch die wagerechten Schnitte je nach der zu Grunde liegenden Extension. Es ist also nicht möglich, dass jedem wagerechten Schnitt jede Sehschärfecurve entspräche; vielmehr verhält sich die Sache, wie die Berechnung zeigt, so, dass in unserer Fläche — nach einer bestimmten Gesetzmässigkeit, die noch zu eruiren wäre — immer drei Curven einander conjugirt sind: Jeder einzelnen Sehschärfecurve entspricht ein gewisser wagerechter Schnitt, und zwar einer Sehschärfecurve mit grossem relativen Unterschied ein wagerechter Schnitt mit grosser Extension und ein senkrechter Schnitt mit hoher absoluter Intensität und umgekehrt. Und in diesem Sinne, aber auch nur in diesem Sinne, darf der Satz: Die linear gemessene Sehschärfe steht zu der absoluten Beleuchtungsintensität in demselben Verhältniss, wie die relative Unterschiedsempfindlichkeit, allgemein für das ganze Gebiet ausgesprochen werden.

Veranschaulichen wir nun, kurz recapitulirend, die hauptsächlichsten Resultate an der beigegebenen schematischen Figur der Fläche $U = f(J, E)$.



Was das allgemeine Bild betrifft, so steigt die Fläche von allen Punkten der beiden Abscissen zunächst verhältnissmässig steil auf und dann, je mehr man sich den höchsten Punkten nähert, immer langsamer und langsamer. Ferner besteht die Eigenthümlichkeit, dass die Fläche denselben Anblick darbietet, ob man sie nun von der Extensions- oder von der Intensitätsaxe

aus betrachtet. Auf beiden Seiten ist der Anstieg senkrecht auf die Axe verhältnissmässig um so steiler, je näher der Anfangspunkt des Coordinatensystems liegt.

1. Wir legen nun durch die Fläche zuerst eine Anzahl von Schnitten, die mit der *UJ*-Ebene parallel gehen.

Diese Curven steigen mit der Concavität gegen die Abscisse *J* erst schnell und dann immer langsamer auf. Sie haben Aehnlichkeit mit Parallellinien, unterscheiden sich aber von diesen dadurch, dass sie erst etwas steiler und dann etwas flacher gerichtet sind, als eine denselben am nächsten kommende Parabel.

Vergleicht man die einzelnen Schnitte untereinander und geht dabei von dem höchsten Punkt *c* nach der Intensitätsaxe vor, so findet man, dass sie nahezu nach einem und demselben Gesetz construirt sind, nur fallen sie gegen die Extensionsaxe hin an ihrem dieser zugewendeten Ende verhältnissmässig schneller ab, je mehr man sich den kleinsten Intensitäten nähert.

2. Legen wir nun durch die Fläche eine Anzahl von Schnitten parallel der *UE*-Ebene, so erhalten wir Curven, die mit den soeben beschriebenen eine vollkommene Aehnlichkeit haben. Diese Schnitte zeigen zur Intensitätsaxe dieselben Verhältnisse wie jene zur Extensionsaxe. Vergleicht man sie untereinander, so zeigt sich, dass die Curven sich sehr ähnlich sind, nur fallen sie an ihrem der Intensitätsaxe zugewendeten Ende verhältnissmässig um so steiler ab, je kleiner die Extension ist, durch welche der Schnitt geht.

3. Schneiden wir nun noch die Fläche parallel der *JE*-Ebene, so erhalten wir Linien gleicher Unterschiedsempfindlichkeit oder von gleichem relativem Unterschied. Es sind Linien, welche die Abhängigkeit der Sehschärfe von der absoluten Beleuchtungsintensität darstellen, wobei nur zu bemerken ist, dass hier unter Extension die Grösse der reizenden Fläche verstanden wurde, während man sonst die Sehschärfe gewöhnlich durch die lineare Ausdehnung des Objectes misst.

Diese Linien haben Aehnlichkeit mit der Hyperbel, von der sie jedoch hauptsächlich darin abweichen, dass, wenn man zu hohen Intensitäten übergeht, alsdann die Extension in minderer Proportion abnimmt, als die Intensität zunimmt. Auch diese Linien haben untereinander Aehnlichkeit, nur zeigt sich, dass je mehr man vom Gipfelpunkt *c* nach *a* geht, die Abweichung von der Hyperbel schon bei um so geringerer absoluter Intensitätszunahme hervortritt.

Vergleicht man die drei Hauptschnittformen untereinander, so ergiebt sich, dass jedem wagerechten Schnitt ein bestimmter senkrechter und eine

bestimmte Sehschärfecurve entspricht; und zwar gehören sich zu je ein wagerechter Schnitt bei grosser Extension, ein senkrechter bei grosser Intensität und eine Sehschärfelinie mit grossem relativen Unterschied und umgekehrt u. s. w.

Unterschiedsempfindlichkeit, Sehschärfe, Lichtsinn.

Es ist oben erwähnt worden, dass die Fläche, welche wir soeben aufzustellen versucht haben, eine Reihe von Einzelfunctionen enthält, die man mit verschiedenen Namen bezeichnet und bis jetzt von einander streng getrennt hat. Dahin gehören die relative Unterschiedsempfindlichkeit, der Lichtsinn und die Sehschärfe.[1] Die relative Unterschiedsempfindlichkeit misst man bei Gleichhaltung der absoluten Intensität und der Extension des Objects durch den kleinsten noch merklichen relativen Unterschied; der Lichtsinn (nach der Methode von Förster, Weber u. s. w.) bei Gleichhaltung des relativen Unterschieds und der Extension durch die schwächste Beleuchtungsstärke, bei welcher das Object eben merklich ist und die Sehschärfe bei Gleichhaltung des relativen Unterschieds und der absoluten Beleuchtung durch die kleinste eben noch merkliche Extension des Objectes.

Es ist nun klar, dass die drei so gemessenen „Functionen" nur Bestimmungen dreier einzelner gewisser Punkte unserer Fläche sind. Ist die relative Unterschiedsempfindlichkeit vollständig bestimmt, das heisst für jeden Werth von J und E, so ergiebt nun eine Bestimmung weder der Sehschärfe noch des Lichtsinnes irgend etwas Neues mehr. Ferner ergiebt eine vollständige Untersuchung des Lichtsinnes (d. h. für alle relativen U und E) genau dasselbe wie eine vollständige Untersuchung der Sehschärfe (d. h. für alle U und J), nämlich eben dasselbe, was eine vollständige Untersuchung der relativen Unterschiedsempfindlichkeit schon ergeben hat.

Relative Unterschiedsempfindlichkeit, Lichtsinn und Sehschärfe sind also nicht, wie man dies bisher angenommen hat, von einander ganz verschiedene optische Functionen; vielmehr beruht ihre Verschiedenheit ganz allein auf der verschiedenartigen Manipulation, durch welche im einen und anderen Falle ein und dieselbe optische Fähigkeit, nämlich die Unterschiedsempfindlichkeit gemessen wird.

---

[1] Formensinn bedeutet, soweit er eine optische Function ist, nichts weiter als Sehschärfe, nämlich Sehschärfe für die einzelnen Theile eines Gegenstandes, welche an die Sehschärfe grössere Anforderungen stellen, als der Gegenstand selbst. Denn die Form eines Gegenstandes setzt sich eben aus seinen einzelnen Theilen zusammen und wird erkannt, sobald diese erkannt sind. Die Combination der Theile zum Ganzen ist dann natürlich ein rein psychisches Geschäft.

Danach ist der Lichtsinn die optische Unterschiedsempfindlichkeit, gemessen durch die absolute Beleuchtungsstärke, bei gleichbleibendem relativem Unterschied und gleichbleibender Extension; die Sehschärfe ist die optische Unterschiedsempfindlichkeit, gemessen durch die Reizextension bei gleichbleibendem relativem Unterschied und gleichbleibender Beleuchtungsstärke.

Diese Bezeichnungen haben also nur einen rein praktischen terminologischen Werth. Vom psychophysischen Standpunkte würde sich eine Eintheilung der sämmtlichen optischen Unterscheidungsfähigkeiten etwa folgendermassen gestalten.

I. Abhängigkeit der Unterschiedsempfindlichkeit von der Intensität und Extension des Reizes für die Serie Weiss, Grau, Schwarz:

1. für helleres Object auf dunklerem Grund;
2. für dunkleres Object auf hellerem Grund.

(Oder wenn die Intensitätsänderung in der Zeit vorgenommen wird:

1. für positive Intensitätsschwankung;
2. für negative Intensitätsschwankung.)

II. Abhängigkeit der Unterschiedsempfindlichkeit von Intensität und Extension des Reizes für quantitative Farbenunterschiede. (Unterschiedsempfindlichkeit für Farbennüancen.)

Ebenso:

III. Abhängigkeit der Unterschiedsempfindlichkeit von Intensität und Extension des Reizes für qualitative Unterschiede. (Farbensinn, qualitative Unterschiedsempfindlichkeit.)

Auch hier sind in der Function, wie sub I und II, enthalten: Unterschiedsempfindlichkeit für Farben (d. h. für alle möglichen Combinationen der sämmtlichen Farben zur zweiten Classe), Lichtsinn für Farben, Sehschärfe für Farben.

Diese drei Abhängigkeitsverhältnisse werden sich nun in Gestalt einer grossen Anzahl von Flächen darstellen lassen.

Es tritt dann noch hinzu die Reizdauer, oder vielmehr überhaupt die zeitlichen Verhältnisse des Reizes, welche nun abermals für die sämmtlichen Flächen zu variiren sind. Erst nach diesen ungemein zahlreichen Erhebungen wird man ein vollständiges Bild der Abhängigkeit einer einzigen Art der Reizwirkung, nämlich der eben merklichen Intensitäts-Unterschiedsempfindung von dem vollen Reizmoment erhalten und wird alsdann zu einer Betrachtung der interfunctionellen Beziehungen fortschreiten können.

Kapitel III.

Betrachtungen zu den Versuchsergebnissen.

Gegenstand unserer Untersuchung waren drei variable Grössen in ihren Beziehungen zu einander, nämlich 1. die relative Unterschiedsempfindlichkeit, 2. die Reizintensität, 3. die Reizextension. Wir haben die Beziehungen dieser drei Variablen in der Weise festzuhalten gesucht, dass wir je eine derselben constant hielten, eine zweite beliebig variirten und für die dritte den Werth bestimmten, bei welchem das Object eben merklich war. Dadurch kamen wir zu drei Einzelfunctionen

1. $U = f(J)$, $E =$ const.
2. $U = f(E)$, $J =$ const.
3. $S = f(J)$, $U =$ const.,

wovon die dritte von den beiden ersten abgeleitet war.

Die Untersuchung war derart eingerichtet, dass wir diese Functionen als Theile eines einheitlichen Ganzen der Fläche $U = f(J, E)$ darstellten. Dadurch ist nun die Möglichkeit gegeben, eine jede der drei Functionen in dem natürlichen Zusammenhang zu betrachten, in welchem sie mit den beiden anderen steht. Wenn wir jetzt dies in einigen nachträglichen Bemerkungen versuchen, so werden wir uns bezüglich der ersten Schnittformen hauptsächlich mit deren Gestaltung, welche strittig ist, zu beschäftigen und dabei die principielle Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes einer Erörterung zu unterziehen haben. Die zweiten Schnittformen bieten Gelegenheit zu einem Versuch, den Zusammenhang der beiden hier betrachteten Functionen aus einer anderweitigen, für die Psychophysik fundamentalen Gesetzmässigkeit abzuleiten, nämlich aus dem Abhängigkeitsverhältniss zwischen Reiz und Reizwirkung. Und über die dritten Schnittformen wird ebenfalls in der fraglichen Richtung noch Einiges nachzutragen sein, was in dem beschreibenden Theil seinen geeigneten Platz nicht hat finden können.

---

1. Ueber die principielle Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes.

Im ersten Kapitel wurde, worauf zuerst Aubert aufmerksam gemacht hat, abermals constatirt, dass das Weber'sche Gesetz den Thatsachen auf optischem Gebiet nicht entspricht und dass auch nach möglichster Elimination der beschuldigten Fehlerquellen (vergl. Fechner, in Sachen der Psychophysik S. 133) der Sachverhalt keineswegs besser zu dem Gesetze stimmt.

Im zweiten Kapitel sind wir dann auf weitere Thatsachen gestossen, die dasselbe Resultat ergeben; dahin gehört zunächst das Verhalten der

Sehschärfe zur absoluten Beleuchtung. Die Sehschärfe nimmt bei abnehmender Beleuchtung ab, d. h. damit das Object bei abnehmender Beleuchtung vom Grund noch unterschieden werden könne, muss dasselbe vergrössert werden; offenbar zeigt also diese Thatsache, dass bei der Verdunkelung die relative Unterschiedsempfindlichkeit abnimmt; denn bliebe sie gleich, so könnte das Object bei Verdunkelung überhaupt nicht verschwinden und eine Vergrösserung wäre überflüssig.

Der Satz: die Sehschärfe nimmt bei abnehmender Beleuchtung ab, heisst nichts anderes als: die Unterschiedsempfindlichkeit nimmt bei abnehmender Beleuchtung ab, wobei aber die nöthig gewordene Compensation nicht durch eine Vermehrung des relativen Unterschieds, sondern durch eine Vergrösserung der reizenden Fläche hergestellt wird.

Die Abhängigkeit der Sehschärfe von der absoluten Beleuchtung bedeutet also eine Abhängigkeit der relativen Unterschiedsempfindlichkeit von ebenderselben.[1] Dass aber die Sehschärfe von der absoluten Beleuchtung (von maximalen Beleuchtungsstärken natürlich abgesehen) unabhängig sei, ist bis jetzt noch von keinem einzigen der ungemein zahlreichen Beobachter behauptet worden.

Damit ist also die empirische Ungültigkeit des Weber'schen Gesetzes auf optischem Gebiet gut erhärtet; aber eine principielle Ungültigkeit desselben allerdings noch nicht bewiesen. Es können Complicationen vorliegen, die verhindern, dass das Gesetz rein aus den Versuchen hervorgehe. Wenn ferner diese Complicationen von der Veränderung der absoluten Beleuchtung abhängig sind, so werden sie die Sehschärfe ebenso beeinflussen können, wie die relative Unterschiedsempfindlichkeit.

Nun haben wir aber eine weitere Thatsache kennen gelernt, welche die Zuhülfenahme jener Complicationen noch viel bedenklicher erscheinen

[1] Es ist auffallend, dass die Beziehungen der Sehschärfe zur relativen Unterschiedsempfindlichkeit in dem Streite um die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes bis jetzt beinahe gar keine Rolle gespielt haben. Nur bei Aubert konnte ich folgende wichtige Stelle finden (*Physiologie der Netzhaut.* 1887. S. 83): „Die Förster'schen Versuche („Ueber die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Lichtstärke") sprechen gegen das psychophysische Gesetz; denn sie ergeben, dass bei abnehmender Helligkeit die Wahrnehmbarkeit von Unterschieden aufhört. Bei Annahme der Richtigkeit des psychophysischen Gesetzes und der Förster'schen Versuche würde man zu dem wunderbaren Resultat kommen, dass eine von ihrer Umgebung gerade unterscheidbare Linie bei schwacher Beleuchtung besser müsste unterschieden werden können, als eine stark gegen ihre Umgebung contrastirende Linie. Denn wenn die Unterschiedsempfindlichkeit ohne Rücksicht auf absolute Helligkeit immer dieselbe bleibt, so muss eine ganz matt graue Linie auf weissem Papier, die ich im hellen Tageslichte eben noch unterscheiden kann, auch bei schwacher Beleuchtung ebenso unterschieden werden können; nach Förster's Versuchen hört aber eine feine schwarze Linie auf weissem Papier bei einer immer noch ganz beträchtlichen Helligkeit auf, sichtbar zu sein."

lässt, als es bei der fraglosen Unzulänglichkeit derselben bis jetzt schon der Fall war: Die relative Unterschiedsempfindlichkeit steht zur Reizextension in einem ähnlichen Abhängigkeitsverhältniss, wie zur Reizintensität; sie ist in ähnlicher Weise von der extensiven Aenderung des Reizes abhängig wie von dessen intensiver Aenderung. Für die extensive Reizänderung ist aber ein gleiches Verhalten der Complicationen (Eigenlicht, Pupillenspiel u. dgl.), wie man es etwa für die intensive Reizänderung annehmen kann, ohne Weiteres vollständig ausgeschlossen.

Wir würden also, um die principielle Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes zu retten, die einfache Gesetzmässigkeit der hier aufgestellten Fläche für den Ausdruck eines Spiels hypothetischer Complicationen halten und annehmen müssen, dass nicht eine tiefere Beziehung, sondern der Zufall die Abhängigkeit der relativen Unterschiedsempfindlichkeit von der intensiven und extensiven Reizänderung in allen Einzelheiten so auffallend ähnlich gestaltet haben; wir würden ausserdem das von allen Beobachtern constatirte Abhängigkeitsverhältniss zwischen Sehschärfe und absoluter Beleuchtung für principiell unrichtig erklären müssen. Dies sind Zumuthungen, die uns veranlassen, die Gründe, die überhaupt für die principielle Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes sprechen, einer kurzen Revision zu unterziehen.

Es sind, wie ich glaube, hauptsächlich zwei Gründe, die dem Weber'schen Gesetze zu der ziemlich allgemeinen, wiewohl durchaus nicht ungetheilten Anerkennung verholfen haben, deren es gegenwärtig geniesst; es ist erstens seine Einfachheit und zweitens die Thatsache, dass in einem gewissen Gebiete der Reizintensitäten eine Approximation des empirischen Befundes an die postulirte Gesetzmässigkeit thatsächlich stattfindet.

Prüfen wir nun diese Einfachheit, die ja zunächst nur eine rein dialektische ist, vom physiologischen Standpunkte, indem wir auch hier wieder den Begriff der Erregbarkeit in die Betrachtung einführen. Wir gehen von der absoluten Reizschwelle aus; dort ist die relative Unterschiedsempfindlichkeit, auf den grösseren Reiz bezogen, gleich Eins. Denn die absolute Reizschwelle ist nicht etwas *toto genere* von der Unterschiedsschwelle Verschiedenes, sie ist von dieser nur derjenige specielle Fall, in welchem der eine der beiden Reize gleich Null ist. Bei den höchsten Intensitäten sei die auf den grösseren Reiz bezogene relative Unterschiedsempfindlichkeit für unseren Fall $^1/_{150}$. Die principielle Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes behauptet nun, dass die relative Unterschiedsempfindlichkeit bei jeder Reizstärke sich gleich bliebe, sie müsste also, wenn wir von der Schwelle aus zu höheren Intensitäten übergehen, stets = 1 bleiben, oder bei umgekehrtem Gang stets = $^1/_{150}$. Da ersteres bekanntlich nicht der Fall ist, so müsste also direct über der Reizschwelle die re-

lative Unterschiedsempfindlichkeit einen plötzlichen Sprung von 1 auf $^1/_{150}$ machen.

Verfolgen wir nun den Gang der Erregbarkeit bei diesem Sprung. Das Organ ergiebt bei dem Schwellenwerth des Reizes = 1 die erste minimale Reaction. Superponiren wir nun auf diesen ersten einen zweiten Reiz, so müsste nach dem fraglichen Gesetz eine zweite minimale Reaction stattfinden, wenn dieser zweite Reiz etwa = $^1/_{150}$ des ersten wäre. Mit anderen Worten, der erste Reiz, von der Grösse des Schwellenwerthes, hätte die Erregbarkeit des Organes um das 150fache erhöht. Diese erregbarkeitserhöhende Eigenschaft des Reizes nimmt nun für die nächsten Reizsuperpositionen stetig ab und genau vom 150fachen des Schwellenwerthes an beginnt nun der Reiz plötzlich die Erregbarkeit des Sinnes zu vermindern.

Zur Annahme eines solchen Verhaltens wird man sich ohne zwingende Beweise wohl schwerlich entschliessen können. Abgesehen davon, dass der physiologische Sinnesreiz bei keiner Intensität die Erregbarkeit erhöht, sondern stets vermindert, so werden hier sprungweise Aenderungen in der Function postulirt, wie sie in der Natur nicht vorkommen dürften. Da die relative Unterschiedsempfindlichkeit bei der absoluten Schwelle = 1, bei hohen Reizintensitäten = $^1/_{150}$ ist, so muss es von vornherein wahrscheinlich sein, dass der Uebergang von der Eins zu $^1/_{150}$ nicht an irgend einer einzelnen Stelle mit einem plötzlichen durch nichts motivirten Sprung vor sich geht, sondern dass er sich langsam und allmählich vollziehen wird, wie dies denn auch ausnahmslos aus allen experimentellen Befunden thatsächlich hervorgeht.

Zur Erklärung des sog. unteren Grenzgebildes des Weber'schen Gesetzes bedarf es also nun nicht mehr der Zuhülfenahme hypothetischer Complicationen; dieses Gebiet ist der einfache Ausdruck des nothwendigen allmählichen Ueberganges der relativen Unterschiedsempfindlichkeit von dem Werthe Eins zu den der höheren Reizintensitäten entsprechenden maximalen Unterschiedsschwellen.

Ist ferner diese Auffassung des sog. unteren Gebietes richtig, so dürfte auch die schliesslich eintretende Approximation ihrer Bedeutung für das Weber'sche Gesetz verlustig gehen. Es ist klar, dass bei einer ohne Ende fortgesetzten Reizsteigerung die relative Empfindlichkeit nicht ebenfalls unendlich wachsen kann, es liegt in der Natur der Sache, dass früher oder später ein Maximum auftritt, von wo ab die Unterschiedsempfindlichkeit bei weiterer Reizsteigerung nicht mehr weiter zunehmen kann; je mehr man sich diesem Maximum nähert, um so mehr muss natürlich die fragliche Approximation hervortreten. Diese Approximation an das Weber'sche Gesetz hat also nur die Bedeutung, dass die bis dahin geltende Gesetz-

mässigkeit sich ihrem Ende nähert, wie dies in dem Eintritt des Maximums begründet ist.

Die Gründe, die man also für die principielle Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes geltend machen könnte, erweisen sich bei einer physiologischen Betrachtung vielmehr als Einwände dagegen, und diese Einwände dürften auch in Beziehung auf die übrigen Sinne bestehen, da ja ein Uebergang vom absoluten Schwellenwerth zu der maximalen Unterschiedsschwelle überall vorhanden sein muss. Der Uebergang wird um so geringer sein und den Mitteln der Beobachtung um so leichter entgehen, je geringer die maximale relative Unterschiedsempfindlichkeit eines Sinnes ist. Beträgt dieselbe, wie z. B. beim Gehör, Drucksinn u. s. w. nur etwa ein Drittel, so wird nun die Curve von der Schwelle an bis zu den höchsten Reizintensitäten nur bis zum Dreifachen des Anfangswerthes aufzusteigen haben, d. h. sie wird so flach verlaufen, dass schon von vornherein in weiten Grenzen eine Approximation an das Weber'sche Gesetz vorausgesagt werden kann, besonders dann, wenn die Untersuchung sich nur auf solche Reizstärken erstreckt, die von der absoluten Reizschwelle verhältnissmässig weit entfernt liegen.

Daraus erklärt sich nun auch sehr einfach und ungezwungen die auffallende und schon von Fechner selbst betonte Thatsache, dass im Gegensatz zu den Sinnen mit verhältnissmässig geringer relativer Unterschiedsempfindlichkeit der Gesichtssinn gerade ungemein grosse Abweichungen vom Weber'schen Gesetz darbietet. Dieser Unterschied ist nicht darin begründet, dass bei dem Gesichtssinn das reine Gesetz durch ganz besondere Complicationen verschleiert wird; vielmehr gestattet die feinere Empfindlichkeit dieses Organes im Gegentheil die wahre Gesetzmässigkeit viel deutlicher zu erkennen, als jene übrigen stumpferen Sinne; dafür spricht in klarer Weise die oben constatirte Thatsache, dass bei den einzelnen Theilen des Auges eine Approximation an das Weber'sche Gesetz in um so weiteren Grenzen stattfindet, je mehr von der Macula zu den weniger empfindlichen Stellen der Peripherie fortgeschritten wird.

---

2. Ueber die Maassbeziehungen zwischen Reiz und Reizwirkung.[1]

Fechner hat bekanntlich die Frage nach der Maassbeziehung zwischen Empfindung und Reiz aufgeworfen und unter Zugrundelegung einiger einfach erscheinender Annahmen aus dem Abhängigkeitsverhältniss der rela-

[1] Unter Reizwirkung ist im Folgenden nicht die Empfindung, sondern diejenige psychische Erregung verstanden, die als Schwankungseffect auftritt, d. h. die Unterschiedsempfindung. (Vergl. Physiologische Studien zur Psychophysik. a. a. O. S. 301—306.)

tiven Unterschiedsempfindlichkeit von der Reizstärke zu beantworten versucht, ohne dabei zu einem unbestrittenen Resultate gekommen zu sein.

In der Einleitung haben wir nun auf eine Reihe anderer psychophysischer Functionen hingewiesen, die zu dem Abhängigkeitsverhältniss der relativen Unterschiedsempfindlichkeit von der Reizintensität vollständig coordinirt sind, und es taucht damit die Frage auf, ob man nicht auch diese anderen Functionen zu einer Lösung des Fechner'schen Problems benutzen könne. Da ist nun ohne Weiteres klar, dass diese sämmtlichen Functionen nicht nur unter sich in bestimmten Beziehungen stehen, sondern dass sie auch mit dem Abhängigkeitsverhältniss Reiz-Reizwirkung auf's Innigste zusammenhängen müssen; und zwar in der Weise, dass wir ein eigentliches Verständniss des Zusammenhanges der einzelnen Functionen erst dann werden gewinnen können, wenn jenes Grundproblem gelöst sein wird. Die sämmtlichen psychophysischen Functionen können in dieser Beziehung als Gleichungen betrachtet werden, in welchen die Maassbeziehung Reiz-Reizwirkung als eine bis jetzt noch unbekannte Grösse, die Gestaltung der betreffenden Function wesentlich mit bestimmend vorkommen muss. Man kann nun versuchen, diese unbekannte Grösse aus jeder einzelnen Function unter Zugrundelegung möglichst einfacher Annahmen oder durch andere Kunstgriffe zu eruiren, worauf dann durch Einsetzung der Lösung in die übrigen Gleichungen oder durch Vergleich der Einzelresultate die zu Grunde liegenden Annahmen rückschliessend zu prüfen und eventuell zu corrigiren sein werden.

Versuchen wir nun dies bezüglich unserer beiden Functionen durchzuführen, so bietet sich für das Abhängigkeitsverhältniss der relativen Unterschiedsempfindlichkeit von der Reizintensität zunächst die Berechnungsweise von Fechner. Trotz des bemerkenswerthen Resultates, welches die Differentiation und Integration ergiebt, wenn wir die relative Unterschiedsempfindlichkeit mit der Quadratwurzel aus dem Reize wachsen lassen, nämlich einer directen Proportionalität zwischen absoluter Unterschiedsempfindung und relativer Unterschiedsempfindlichkeit, oder kürzer zwischen absoluter und relativer Erregbarkeit, wollen wir uns hierbei an dieser Stelle nicht aufhalten; die Rechnung beruht auf Annahmen, deren Richtigkeit von den verschiedensten Seiten bekanntlich bestritten worden ist.

Wir haben dann noch einen zweiten Weg. Wenn ein Reiz mit constanter Geschwindigkeit von Null zu einer gegebenen Höhe ansteigt, so können wir uns den Vorgang der Art denken, dass wir den gesammten Reiz in lauter einzelne Theile theilen, von denen sich jeder als Superposition auf die Summe der vorhergehenden darstellt. Wir sind nun (S. 100) zu einem Ausdruck gekommen, der in jedem Moment des Reizes den Zustand der Erregbarkeit und somit auch die Wirkung einer sich auf beliebiger

Reizhöhe vollziehenden kleinsten Superposition zu berechnen ermöglicht. Doch lässt sich im Grunde genommen auch dieses Verfahren nicht anwenden ohne Zuhülfenahme von Annahmen, die den Fechner'schen völlig analog sind; und wir würden uns auch mit dieser Berechnung wieder den alten Zweifeln engegengestellt sehen.

Es soll deshalb versucht werden, sogleich die zweite Function: Unterschiedsempfindlichkeit - Reizextension in Angriff zu nehmen, um so mehr, als daraus hervorgehen dürfte, wie vorsichtig man jedenfalls mit dem mehrfach erwähnten, zur Berechnung benöthigten Voraussetzungen zu verfahren hat.

Die Aufgabe ist also jetzt, die Maassbeziehung Reiz - Reizwirkung aus dem experimentell bestimmten Abhängigkeitsverhältniss der relativen Unterschiedsempfindlichkeit von der Reizextension (also aus den senkrechten Schnitten) abzuleiten. Wir wollen dies durch folgende Betrachtung versuchen.

Auf einem gleichbleibenden Grund hebt sich ein helleres Object eben merklich ab; in welchem Verhältniss wird dessen Helligkeitsintensität (worunter hier die absolute Differenz zwischen Grund und Object verstanden ist) bei einer Aenderung der Extension geändert werden müsssen, damit das Object eben merklich bleibe?

Sehen wir zunächst von den Versuchsresultaten ganz ab, so wäre eine einfache Vermuthung zunächst die, dass das Object dann gleich merklich bleiben wird, wenn seine Extension sich in umgekehrter Proportion ändert, wie die Intensität; dann würde die vom Object in's Auge gesendete Lichtmenge stets die gleiche bleiben.

Nach dieser Vermuthung wäre es einerlei, ob n Netzhautelemente mit der Lichtintensität m, oder m Netzhautelemente mit der Lichtintensität n gereizt würden, da ja das Product mn, d. h. die reizende Lichtmenge constant bliebe.

Diese Vermuthung erscheint auf den ersten Blick in der That nicht unbegründet; aber, wie man bald bemerkt, diese Vermuthung ist auf eine Annahme gegründet, die nichts weniger als wahrscheinlich ist. Diese Annahme ist die Proportionalität zwischen Reiz und Reizwirkung. Denn es ist klar, dass, wenn die Reizwirkung in einem anderen als proportionalen Verhältniss zur Reizintensität steht, so wird die aus den Einzelerregungen sich zusammensetzende Gesammterregung nicht dann eine constante bleiben, wenn $n.m = \text{const.}$, sondern wenn

$$n.f(m) = \text{const.} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

wo m die Intensität und $f(m)$ die Abhängigkeit der Reizwirkung von der Reizintensität. Offenbar ist die Anzahl der gereizten Netzhautelemente nicht mit dem Reiz sondern mit der Reizwirkung zu multpliciren, wenn

die Gesammterregung, welche der Summe der den einzelnen Netzhautelementen ertheilten Einzelerregungen gleich ist, stets gleichgehalten werden soll.

Wenn sich nun dies so verhält, so würde sich nun aus dem experimentell gewonnenen Abhängigkeitsverhältniss der relativen Unterschiedsempfindlichkeit von der Reizintension mittels der soeben aufgestellten Formel (1) die $f(m)$, d. h. das Verhältniss der Reizwirkung zur Reizintensität leicht berechnen lassen. Wir stünden damit am Ziel; aber, wie ausdrücklich hervorzuheben ist, nur unter der Bedingung, dass die der Formel stillschweigend zu Grunde gelegten Annahmen richtig sind.

Diese Annahmen sind analog den beiden Fechner'schen und lauten: 1) Die Gesammterregung ist gleich der Summe der sämmtlichen (den einzelnen Netzhautelementen ertheilten) Einzelerregungen. 2) Eben merkliche Erregungen sind gleich grosse Erregungen.

Wenden wir jetzt die Betrachtung auf die Versuchsergebnisse an. Wir haben gesehen, dass $U = a\sqrt[p]{E}$, wo p bei niederen Werthen $= 2$, und von da bis zu den höchsten Werthen bis etwa zu $2 \cdot 6$ anwächst; a ist $= \frac{1}{m}$ und hängt von p ab. Der sprachlichen Einfachheit wegen wollen wir nun $p =$ constans $= 2$ setzen und die Abweichung lediglich dem Coëfficienten a zuschreiben, wobei wir dann den Coëfficienten a' in der Betrachtung vernachlässigen ohne seine Inconstanz zu vergessen.

Wir haben also $U = k\sqrt{E}$, oder die Erregung bleibt eine eben merkliche, wenn

$$\sqrt{E} . J = \text{const., oder}$$
$$E . J^2 = \text{const.}$$

D. h. die Reizwirkung nähme zu proportional dem Quadrat des Reizes, also schneller als dieser, ein Resultat, dessen ungemein grosse Unwahrscheinlichkeit sich nun direct gegen die zu Grunde gelegten Annahmen richten. Besonders die erste Annahme, dass die Gesammterregung gleich sei der Summe der Einzelerregungen, ist trotz ihrer Einfachheit anzuzweifeln. Damit sich die Einzelerregungen summiren können, muss man sich wohl vorstellen, dass dieselben an irgend einem Punkte, in einem einheitlichen Organe zusammentreffen. Alsdann wird aber jede der einzelnen Erregungen die Erregbarkeit dieses Organs für die sämmtlichen anderen in einem bestimmten Verhältniss ändern.

Es ist hier also nicht gelungen, auf diesem Wege jenes wichtige Fechnersche Problem zu lösen; das negative Resultat durfte aber zeigen, dass mit der Zuhülfenahme der mehrfach erwähnten Annahmen Vorsicht zu üben ist und ferner, dass wir noch weit von einer Lösung des Problems entfernt sind. Ausserdem sollte hier an dieser Frage trotz des negativen und sogar

räthselhaften Resultates deshalb nicht vorübergegangen werden, weil eine dereinstige Lösung in die Function $U = f(E)$ ebensogut wird hineinpassen müssen, wie in die Function $U = f(J)$, sowie in die sämmtlichen übrigen einleitend angedeuteten psychophysischen Maassbeziehungen.

---

3. Ueber Sehschärfe.

Die Beziehungen der Sehschärfe zu den beiden hier behandelten psychophysischen Functionen sind im Vorhergehenden schon mehrfach berührt worden. Die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität soll nun schliesslich noch in ähnlicher Weise betrachtet werden, wie dies soeben mit der Abhängigkeit der relativen Unterschiedsempfindlichkeit von der Extension des Objectes geschehen ist, da sich dadurch wohl am besten übersehen lässt, inwieweit Schwierigkeiten, die sich bis jetzt einem Verständniss der Sehschärfecurven entgegengestellt haben, nunmehr behoben werden können.

Das Object hebt sich mit gegebenem und gleichbleibendem relativen Unterschied von dem Grunde ab; in welchem Verhältniss wird bei einer Aenderung der absoluten Beleuchtung die Grösse des Objectes verändert werden müssen, damit der Punkt gleich merklich bleibe?

An sich betrachtet ist dieser Fall entschieden complicirter als der vorige, so dass man durch blosse Ueberlegung, und ohne die im zweiten Kapitel dargelegten Versuchsresultate zu Hülfe zu nehmen, kaum zur Aufstellung einer wahrscheinlich erscheinenden Vermuthung kommen dürfte. Würde man hier annehmen, dass einfach die Beleuchtung in demselben Verhältniss zunehmen müsste, in welchem die Extension abnähme, so hätte man nach dem Vorigen zwei Irrthümer als Praemissen; nämlich 1. die Annahme der Proportionalität zwischen Reiz und Reizwirkung und 2. die Vernachlässigung der verschiedenen Beleuchtung des Grundes. Denn man sieht zwar unmittelbar ein (die erste Praemisse als richtig vorausgesetzt), dass das Object auf gleichbleibendem Grunde in demselben Maasse stärker beleuchtet werden müsste, als es kleiner wird, aber keineswegs versteht man ohne Weiteres, warum denn Object und Grund, beide in demselben Verhältniss stärker beleuchtet werden sollen, in welchem die Grösse des Objects abnimmt. Zu einem Verständniss davon, dass sich die Sache trotzdem thatsächlich so verhält, gelangt man erst durch die Kenntniss desjenigen Befundes, den wir im zweiten Kapitel festgestellt haben: Die relative Unterschiedsempfindlichkeit ist von der Extension nahezu in derselben Weise abhängig, wie von der Intensität des Reizes. Nun war dieses

Verhältniss bis jetzt völlig unbekannt; dennoch finden wir aber die fragliche Annahme in der Litteratur über Sehschärfe bereits deutlich ausgesprochen (zuerst von Aubert, dann von Ricco, Manolescu, A. Lehmann); was sich nur daraus erklärt, dass nicht das Raisonnement, sondern die Thatsachen selbst dazu geführt haben. Darum dürfen wir nun aber auch wieder um so sicherer zurückfolgern, dass in der That die Extension einen ähnlichen Einfluss auf die relative Unterschiedsempfindlichkeit ausüben muss, wie die Intensität des Reizes.

Nun haben aber die erwähnten Autoren ferner angegeben, dass der experimentelle Befund keineswegs genau zu der Annahme stimme, sondern nur in approximativer Weise. Auch wir haben gesehen, dass die Sehschärfecurven von der Hyperbel nicht unerhebliche Abweichungen darbieten. Inwiefern diese Abweichungen mit der Gestaltung der Fläche $U = f(J, E)$ zusammenhängen, ist schon oben berührt worden; es ist noch zu erwähnen, dass die obere Abweichung der Sehschärfe auch auf die obere Abweichung der relativen Unterschiedsempfindlichkeit bezogen werden kann. Ist die Sehschärfe, wie schon auseinandergesetzt, in der That die durch die Extension des Objects gemessene relative Unterschiedsempfindlichkeit, so ist klar, dass wenn die letztere sich einem oberen Maximum nähert, von wo ab sie nun nicht mehr zunimmt, dass dann auch die Sehschärfe sich in jenem Gebiet der Reizintensität ähnlich wird verhalten müssen.

Wir sind ferner auf die Thatsache gestossen, dass merkwürdiger Weise gerade die lineare, nicht die flächenhaft gemessene Sehschärfe bei Reizänderung mit der relativen Unterschiedsempfindlichkeit parallel geht. Auch diese Thatsache können wir jetzt in den allgemeinen Zusammenhang bringen.

Lassen wir die relative Unterschiedsempfindlichkeit mit der Wurzel aus dem Reiz wachsen, wobei wir von der soeben besprochenen oberen Abweichung des leichteren Ausdruckes wegen absehen, so haben wir

$$1) \quad U = a\sqrt{J} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$
$$2) \quad EJ = \text{const.}$$

Nennen wir die lineare Extension $\mathfrak{E}$, so ist $\mathfrak{E}^2 = E$, also

$$\mathfrak{E} = \frac{c'}{\sqrt{J}} \quad .$$

Und da die Sehschärfe (S) üblicher Weise durch das Reciprocum der linearen Extension gemessen wird, so ist

$$S = \frac{1}{\mathfrak{E}} = c' . \sqrt{J} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Die beiden Functionen nehmen also jede mit der Quadratwurzel aus der Reizintensität zu, welche nun noch mit a' in beiden Fällen zu multipliciren ist.

Es sind nun einige der wesentlichsten Eigenschaften der hier aufgestellten Fläche $U = f(J_1\ E)$ erörtert worden; die Untersuchung konnte allerdings nur einen unvollkommenen ersten Einblick in die verwickelten Beziehungen zweier Functionen gewähren; ein vollständiges und reines Bild wird man erst mit Hülfe einer Reihe anderer besonderer Untersuchungen gewinnen können, wie dies ja auch zum Theil im Verlaufe der Mittheilung mehrfach bemerkbar geworden ist; (so besonders Untersuchungen über den Einfluss der Grösse des Grundes auf die Unterschiedsempfindlichkeit in der S. 102. 103 angedeuteten Weise, über den Fehler durch Irradiation beim wohlaccommodirten Auge, Aufstellung der Fläche für dunklere Objecte auf hellerem Grunde u. s. w.). Erst nach diesen Ermittelungen wird es gestattet sein, die hier betrachteten Erscheinungen in das einleitend angedeutete grössere psychophysische Gebiet einzufügen.

Untersuchungen über den Muskelsinn.

Von

Dr. Alfred Goldscheider.
Stabsarzt am med.-chir. Friedrich-Wilhelms-Institut zu Berlin.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Berlin.)

II. Über die Empfindung der Schwere und des Widerstandes.

Die von Hrn. Prof. Dr. Gad gegen meine Auffassung von der Natur der „Empfindungen der Schwere und des Widerstandes“ erhobenen Bedenken zwingen mich, mit einer Rechtfertigung dieser meiner Auffassung zu beginnen, um so mehr, als ich annehmen darf, dass die Bedenken von Prof. Gad von vielen Seiten getheilt werden. Es erscheint mir zweckmässig, die Erörterung an die Einwände selbst anzuknüpfen.

Ich möchte zunächst bemerken, dass ich mich, was meine Ansicht über die Bedingungen, unter welchen eine Empfindung als etwas ausser uns Befindliches objectivirt wird, betrifft, in vollkommener Uebereinstimmung mit Hrn. Prof. Gad befinde. Es ist durchaus nicht meine Meinung, dass irgend eine Empfindung durch sich selbst nach aussen verlegt werde, wie am besten aus der folgenden Abhandlung selbst hervorgehen wird. — Der Widerstreit der Ansichten dreht sich nun um die Frage, ob man von einer „Empfindung der Schwere“, „Empfindung des Widerstandes“ sprechen könne. Prof. Gad macht geltend, dass es sich hier nicht um einfache Vorgänge, wie etwa bei einer Kälte-, Druck- oder Bewegungsempfindung handle, sondern um Vorstellungen complicirter Art, welche einem gewissen Werthverhältniss zwischen dem Bewusstwerden der ertheilten Innervationsstärke, den uns zugehenden Empfindungen von Spannung und Druck, so wie solchen von Bewegung entsprechen.

Ich halte diese, logisch unanfechtbare Aufstellung zunächst für unfruchtbar. Sie nimmt keine Rücksicht auf den sinnlichen Inhalt, die

Qualität der in Frage stehenden Sinnesleistungen, welche in ausgeprägter Weise vorhanden ist und von welcher nach meiner Ansicht die Untersuchung auszugehen hat. Ich halte mich zuerst an den sich praesentirenden Sinneseindruck, ohne eine aprioristische Erörterung darüber einzugehen, ob derselbe einfacher oder zusammengesetzter Natur ist. Das Gefühl des Widerstandes ist vorhanden. Wenn man mit dem Fingernagel oder mit einem in den Fingern gehaltenen Stäbchen gegen ein Object stösst, so hat man einen eigenthümlichen, mit anderen nicht vergleichbaren Sinneseindruck, welchen man an dem Punkte des Widerstandes selbst localisirt. Nicht anders verhält es sich beim Heben eines Gewichtes. Wenn ich ein an einem Faden, welchen ich zwischen zwei Nagelränder einklemme, befindliches Gewicht hebe, so habe ich den sinnlichen Eindruck eines ausser mir, sogar in einer gewissen Entfernung von mir befindlichen eigenthümlichen Etwas, welches ich nicht anders als mit „schwer" bezeichnen kann, und ich vermag, so viel ich auch will, diese Empfindung in nichts anderes einzutheilen oder aufzulösen. Was sollte mich nun abhalten, von diesen sich mir praesentirenden Sinneseindrücken meine Untersuchung zu beginnen, meine Fragestellung abzuleiten? Die mehr oder weniger zusammengesetzte Natur dieser Sinneseindrücke, deren Einfachheit ich zunächst gar nicht behaupte, ist eine Frage secundärer Art, welche erst dadurch in Angriff genommen werden kann, dass die Bedingungen, unter welchen jene Eindrücke zu Stande kommen, ermittelt werden, was eben der Gegenstand der folgenden Untersuchungen ist. Es dürfte fruchtbarer sein, von dem auszugehen, was uns unser Sinnesleben darbietet, als sich über die Natur einer vorhandenen Kategorie von Eindrücken bestimmten sinnlichen Inhaltes eine praesumtive Meinung auf Grund logischer Erörterungen, welche an und für sich noch so berechtigt sein mögen, zu bilden. Es handelt sich eben nicht bloss um eine Vorstellung von einem Widerstande oder einem Gewicht, sondern um sinnliche Erscheinungen besonderer Qualität. Letztere rufen erst gewisse Vorstellungen hervor, und ich werde zeigen, dass sie bei einer gewissen Versuchsanordnung falsche Vorstellungen entstehen lassen, während sie selbst in normaler Weise zu Stande kommen. Die Untersuchungen über den „Kraftsinn" haben sich meist damit beschäftigt, die Unterschiedsempfindlichkeit zu ermitteln. Hierbei tritt die Frage der Qualität der Empfindung in den Hintergrund. Beschäftigt man sich nun aber mit dem Schwellenwerth dieser Sinnesleistung, sucht man also festzustellen, welches Minimum von Gewicht für uns wahrnehmbar ist, so handelt es sich um einen neu auftretenden Eindruck, welcher doch irgendwie bezeichnet werden muss. Ich wüsste nun nicht, wie man es hier umgehen könnte, davon zu sprechen, dass bei einer gewissen Grösse des Gewichts eine Empfindung entstehe, und welchen Vortheil es haben soll, diesen Ausdruck vermeidend,

von einer „Vorstellung“ zu reden. Da aber diese Empfindung eigener Art ist und ihr Inhalt in der Sprache mit dem Worte „schwer“ belegt ist, so möge man sie doch „Empfindung der Schwere“ nennen. Wenn man aber dagegen einwenden wollte, dass diese Art von Sinnesleistung gar keine Schwelle habe, weil auch die unbelasteten Glieder schon schwer sind und es sich daher nur um eine Steigerung schon vorhandener Sensationen handele, so ist darauf zu erwidern, dass hieraus nur zu folgern sei, dass auch die unbelasteten Glieder schon eine Empfindung der Schwere entstehen lassen. Man könnte auch in formaler Hinsicht den Ausdruck „Empfindung der Schwere“ bemängeln, und Hr. Prof. Gad macht geltend, dass die Schwerkraft doch nur eine von den vielen Kräften sei, welche mit der Muskelkraft in Wettstreit treten könne. Ich möchte deshalb betonen, dass mir „Schwere“ hier lediglich die Beschreibung des sinnlichen Inhaltes der Empfindung ist und nicht die physikalische Eigenschaft der Körper, durch welche sie von der Erde angezogen werden. Das Wort „schwer“ ist zweifellos dem Sinnesleben entnommen und lässt in seinen vielfachen übertragenen Bedeutungen immer noch erkennen, dass es seinen Ursprung den Empfindungen verdankt, welche bei Kraftanstrengungen in uns entstehen, ganz abgesehen davon, ob diese sich nun gerade gegen die Ueberwindung der Schwerkraft richten. Dieses zur Bezeichnung eines physikalischen Phaenomens verwendete Wort hat seine erste Hälfte eben selbst aus dem Reiche der Empfindungen entlehnt, wie man ja physikalisch auch von einer Fortpflanzung des „Lichts“ spricht, welches nur in unserer Empfindung existirt. Aber dies kann uns nicht verhindern, den Ausdruck „Lichtempfindung“ beizubehalten, und eben so wenig kann man sich daran stossen, von einer „Schwereempfindung“, in dem Sinne, dass „Schwere“ die Qualität der Empfindung beschreibt, zu sprechen.

Ich kann mich ferner aus einem principiellen Grunde mit den Ausführungen des Hrn. Prof. Gad nicht einverstanden erklären. Zweifellos ist Widerstand sowohl wie Gewicht begrifflich darzustellen als ein Werthverhältniss von Innervation, Spannungsveränderungen und Bewegung. Diese Kette von Vorgängen läuft im Organismus ab. Aber es ist nicht erforderlich, dass unser Empfindungsvermögen die Gesammtheit derselben umfasst. Wenn es sich um einen complicirten materiellen Vorgang handelt, welcher von aussen auf uns wirkt, so braucht dasjenige Moment, welches den Sinnesnerven erregt, nicht den gesammten Vorgang in sich zu begreifen, sondern es braucht zu demselben nur in einem Verhältnisse zu stehen, wie etwa irgend ein Index, z. B. ein graphischer zu einem complicirten Apparat. Dieser Index braucht den Veränderungen des gesammten materiellen Vorganges nicht einmal parallel zu gehen, sondern es müsste nur eine durch irgend eine Formel auszudrückende regelmässige Beziehung

zwischen ihm und dem Gesammtvorgang bestehen. Betrachten wir unter demselben Gesichtspunkt jenen aus Innervation, Spannungsveränderungen und Bewegungen bestehenden Vorgang, so kann es nicht als zwingend erscheinen, dass wir nur auf Grund einer Zusammenfassung aller dieser Dinge zur Vorstellung von Widerstand und Schwere gelangen sollten. Der Vorgang könnte vielmehr nach irgend einer Richtung hin eine Wirkung ausüben, welche als Index den Reizvorgang für unsere empfindenden Nerven bildet und welche Empfindungen hervorruft, in denen jene Componenten ebenso vernichtet sind, wie in einer aus verschiedenartig gerichteten Bewegungsmomenten resultirenden Bewegung, welche aber dennoch im Stande sind, uns eine zutreffende Vorstellung von dem Resultat jener zusammenkommenden Elementarvorgänge zu geben. Das begrifflich Disponirte braucht sinnesphysiologisch nicht nach demselben Plane verwirklicht zu sein. Ich werde im Folgenden zeigen, dass dies nicht bloss eine Speculation ist, sondern speciell bei den behandelten Kategorieen von Sinnesleistungen sich so verhält. Wenn ein begrifflich theilbarer Vorgang durchaus nicht eine in demselben Maasse zusammengesetzte Empfindung zu geben braucht, so muss andererseits das begrifflich Einfache nicht sinnesphysiologisch einfach sein. Ich kann nicht finden, dass das Bewusstwerden der aufzuwendenden Innervationskraft durchaus etwas einfaches sein müsse. Ich kann mir wenigstens eben so gut vorstellen, dass wir aus einer primären Schwereempfindung und einer primären Bewegungsempfindung in Verbindung mit einem unmittelbar vorher aufgetauchten Vorstellungsbild einer vorzunehmenden Bewegung die Vorstellung der aufgewendeten Innervationsstärke ableiten.

Im Uebrigen ändert sich durch die Verschiedenheit des Standpunktes an dem Untersuchungsplane kaum etwas, und ich könnte im Hinblick darauf ja auch die vorläufige Concession machen, mich dahin auszudrücken, dass ich die Bedingungen, unter welchen die Vorstellung eines schweren Objects und die Vorstellung eines Widerstandes entstehen, untersuchen will. Aber da das Resultat der Untersuchung doch wieder zur Aufstellung einer Schwere- und Widerstandsempfindung führen wird, so ziehe ich es vor, diese Ausdrücke von vorn herein in Gebrauch zu nehmen.

Die Empfindung der Schwere.

Es wird sich zunächst um die Herstellung möglichst einfacher Versuchsbedingungen handeln. Als einfach können dieselben aber bei der üblichen Art, ein Object mit der Hand oder dem ganzen Arm zu heben, nicht gelten. Wenn sich der Arm in irgend einer aus der vertical herab-

hängenden abgelenkten Haltung befindet, so würde ihn die Schwerkraft wieder in dieselbe zurückführen, wenn er nicht durch Muskelkräfte gehalten würde. Diese müssen sich aber nothwendig auf jeden einzelnen der durch Gelenke mit einander verbundenen Gliedabschnitte erstrecken, da wegen der Gelenkverbindungen das Gleichgewicht des einen nicht zugleich das des anderen bedingt, vielmehr jeder derselben als ein den physikalischen Gesetzen folgender Körper für sich zu betrachten ist. Ich setze dabei eine Haltung des Armes voraus, bei welcher in keinem Gelenk das durch die Schwerkraft gesetzte Bewegungsmoment durch Knochenhemmung vernichtet wird. Die vermöge der Gelenke in einem labilen gegenseitigen Lageverhältniss befindlichen Gliedabschnitte werde ich im Folgenden als „Segmente“ bezeichnen und als festen Punkt für die Segmente des Armes den Rumpf betrachten, was allerdings für grössere Gewichte, mit welchen wir es jedoch nicht zu thun haben werden, nicht mehr zutreffend sein würde. Um den Arm mit seinen beweglichen Segmenten in der angenommenen Lage zu erhalten, ist also eine Summe von Muskelkräften, und zwar von je verschiedener Grösse, nothwendig. Ich will nun einmal einen äussersten Fall betrachten: dass nämlich ein Gewicht an der Nagelphalanx eines Fingers aufgehängt und nun mittelst einer Bewegung im Schultergelenk gehoben werde. Dieses Gewicht würde zunächst der Nagelphalanx eine Abwärtsbewegung, d. h. eine Drehbewegung in ihrem Gelenk ertheilen; die Ausgleichung dieses Bewegungsanstosses durch eine Vermehrung der die Nagelphalanx haltenden Muskelkraft würde nicht verhindern, dass das Gewicht der mittleren Phalanx gleichfalls ein Bewegungsmoment ertheilt, und so der Grundphalanx und der Reihe nach allen Segmenten bis zum Schultergelenk. Die Grösse der den einzelnen Segmenten ertheilten Bewegungsmomente wird dabei eine sehr verschiedene und demgemäss der nothwendige Zuwachs an Muskelspannung für die einzelnen Muskeln, bez. Muskelgruppen ein sehr verschiedener sein. Die von den wirklich hebenden Muskeln aufgewendete Kraftleistung ist daher keineswegs die einzige, welche das Gewicht hervorruft, sondern es handelt sich um eine ganze Summe von Leistungen von verschiedener Grösse und Vertheilung. Die übliche Art Gewichte zu heben, unterscheidet sich von dem angenommenen äussersten Fall nicht allzu sehr, da bei derselben gewöhnlich sogar noch mehrere Finger, also eine noch grössere Anzahl von Segmenten betheiligt ist. Dass das eine oder andere Gelenk vielleicht durch Knochenhemmung mit Bezug auf die Wirkung der Schwerkraft festgestellt ist, macht für das Wesen des Vorganges wenig aus: es handelt sich immer um eine mehr oder weniger complicirte Kraftleistung, damit aber auch zugleich um eine Menge verschiedenartiger Empfindungen in den in Betracht kommenden Theilen

(Muskeln, Sehnen, Gelenken, Haut). Hieraus folgt, dass der Forderung einfacher Bedingungen erst eine solche Disposition genügen würde, bei welcher das Gewicht an demselben Segment befestigt ist, mittelst dessen die Hebung ausgeführt wird; da aber auch hierbei immerhin noch zur Haltung der übrigen Segmente eine Anzahl von Muskelkräften gleichzeitig wirken müssen, und diejenigen Muskeln, welche das belastete Segment überbrückend zum nächsten ziehen, sich an der Hebung betheiligen können, wie etwa der Biceps bei Belastung des Humerus, so würde der Forderung in der strengsten Weise erst genügt werden, wenn überhaupt nur ein Segment bewegt wird und an diesem sich nun das Gewicht befindet.

Dies lässt sich natürlich nur an einem die äusserste Peripherie bildenden Segment ausführen, also z. B. an der Nagelphalanx eines Fingers. Dieselbe bietet jedoch für die Untersuchung erhebliche Schwierigkeiten dar. Sie ist zu kurz, um die nothwendigen und im Folgenden näher zu beschreibenden Maassnahmen zu gestatten; sie ist ausserdem nur mit geringer Elongation gegen die mittlere Phalanx zu bewegen und und die Reizung der letzteren, an der Bewegung des Nagelgliedes sich zu betheiligen, ist so gross, dass dieselbe nur durch eine fixirende Vorrichtung von erheblicher Druckwirkung überwunden werden kann. Ich habe deshalb die hebende Bewegung im I. Interphalangealgelenk (des linken Zeigefingers) ausgeführt und somit also nicht ein, sondern zwei Segmente (mittlere und Endphalanx) bewegt. Diese Anordnung entspricht nicht ganz der oben gestellten Forderung, allein die Versuchsergebnisse sind von der Art, dass sie durch diese Abweichung nicht alterirt werden, während andererseits der Einfluss des an das belastete sich anschliessenden mitbewegten Segmentes dennoch für sich ermittelt werden konnte. Da wir Hebungen meist mittelst Beugebewegungen ausführen, so wurden letztere gewählt. Bei der Nothwendigkeit der Fixirung sämmtlicher Segmente bis zum I. Interphalangealgelenk ergiebt sich aber, wenn die Beugefläche genau nach oben gerichtet sein soll, eine gewisse Unbequemlichkeit der Haltung. Es wurde deshalb eine Anordnung getroffen, bei welcher ein Gewicht mittelst Beugebewegung, aber bei nach unten gerichteter Beugefläche gehoben wurde.

Ellbogen und Unterarm ruhen auf einer gepolsterten Unterlage, die Hand und die Finger auf einer hierzu passend hergestellten Gypsform. Vom Zeigefinger ist nur die Grundphalanx bis nahe an das I. Interphalangealgelenk gestützt und zwar ist dieselbe leicht schräg aufwärts gerichtet, sodass die mittlere Phalanx bei der gerade bequemsten leicht gekrümmten Haltung des Fingers horizontal liegt. Die Vorrichtung zum Heben des Gewichts ist folgende: Ein festes Stativ trägt eine wagerecht liegende Schiene, an deren beiden Enden je eine leicht bewegliche, an ihrer Peri-

pherie mit einem Einschnitt versehene Rolle angebracht ist. Ueber die beiden Rollen läuft ein Pferdehaar, welches auf der einen Seite ein leichtes ebenes Täfelchen von Hartgummi als Wagschale, auf der anderen Seite eine Oese trägt und ausserdem durch ein die Wagschale aequilibrirendes, durchbohrtes Gewichtchen hindurchgeht. Um das mittlere Glied des Zeigefingers (bezw. um ein anderes je zur Untersuchung gelangendes Segment) wird ein Band befestigt, welches mit einem Häkchen versehen ist, und zwar so, dass das letztere der Mitte der Dorsalfläche entspricht und gerade nach oben gerichtet ist. Indem dasselbe in die Oese gehakt wird, tritt das Fingerglied mit dem die Wagschale tragenden Haar in Verbindung. Dieselbe ruht auf einem Tischchen, welches an einem kleinen, mit dem erstbeschriebenen nicht zusammenhängenden Stativ in der Höhe und seitlich verstellt werden kann. Das Tischchen ist bei den Versuchen so gestellt, dass die Wagschale bei horizontaler Lage des mittleren Fingergliedes gerade abgehoben wird, sodass in dem Moment, in welchem die Wirkung des auf die Wagschale aufgelegten Gewichtes auf das hebende Glied beginnt, die Richtung des an letzterem ausgeübten Zuges eine senkrechte ist. Es ist dies nothwendig, da mit jeder Veränderung des Winkels zwischen Zugrichtung und Längsaxe des Gliedes das statische Moment ein anderes wird. Mit der, abwärts gerichteten, Beugebewegung des Fingergliedes ist jetzt also die Hebung eines Gewichts verbunden und der Vorgang unterscheidet sich nur dadurch von einer natürlichen Hebung, dass bei letzterer die Schwere des Gliedes sich zu dem Gewicht hinzuaddirt, während hier die Richtung der Schwerkraft der Zugrichtung des Gewichts entgegengesetzt ist. Bei dem geringen Eigengewicht der in Betracht kommenden Segmente dürfte dieser Umstand nicht viel ausmachen, jedenfalls die Ergebnisse nicht wesentlich beeinflussen; immerhin jedoch werden wir die beschriebene Vorrichtung nur als einen Nothbehelf ansehen und so bald als möglich zu der üblichen Weise des Hebens zurückkehren.

Als Maass des Empfindungsvermögens wurde nicht die Empfindung von Gewichtsunterschieden, sondern diejenige eben merklicher Gewichte gewählt. Da es sich darum handelt, die Bedingungen festzustellen, von denen das Zustandekommen der Schwereempfindung überhaupt abhängt, so ist es das natürlichste, sich an die Schwelle der Empfindung zu halten. Die Berücksichtigung der Unterschiedsempfindlichkeit würde die Verhältnisse erheblich compliciren, da dieselbe ausser von jenen zu ermittelnden Bedingungen noch von der Anfangsbelastung abhängt, und damit zugleich die aus den Ergebnissen zu ziehenden Schlüsse weniger zuverlässig machen. Das eben merkliche Gewicht wurde in üblicher Weise so bestimmt, dass jedesmal sowohl von kleinsten Gewichten beginnend, zu grösseren aufgestiegen wie von übermerklichen beginnend herabgestiegen wurde. Selbst-

verständlich erwies sich die Grösse des eben merklichen Gewichts als abhängig von der Entfernung, in welcher der Angriffspunkt des Gewichts sich von dem Gelenk befand, welche demnach bei vergleichenden Beobachtungen identisch sein musste.

Die so hergestellte Einfachheit der Versuchsbedingungen erlaubte nun zunächst eine Frage zu stellen, welche bei den complicirten Verhältnissen einer vielgliedrigen Bewegung gar nicht in Angriff genommen werden könnte, nämlich in wie weit die Empfindung der Schwere von der Sensibilität des peripherischen bewegten Gliedes abhängig sei. Als ein die Sensibilität herabsetzendes Mittel habe ich schon bei anderweitigen Versuchen den faradischen Strom in Anwendung gezogen.[1] Er erregt die Nerven so heftig, dass er ihre Empfänglichkeit bezw. Leitungsfähigkeit für die ihren Endigungen zugehenden normalen Reize abstumpft. Den Beweis, dass die Bewegungsempfindung und die Lagewahrnehmung bei Faradisation nicht etwa in Folge störender Paraesthesien, sondern thatsächlich in Folge der gesetzten Hypaesthesie eintritt, habe ich in der citirten Arbeit geliefert und ich darf daher die jetzt zu berichtenden Ergebnisse ebenfalls auf die Hypaesthesie beziehen. Behufs Application des Stromes bediente ich mich wie früher schmaler Schwammstreifen, welche, an den Enden der Leitungsdrähte befestigt, ringförmig um den Finger gelegt und mittelst Gummibänder befestigt wurden.

I. Versuch. Das Band, an welchem der Zug des Gewichts angreift, ist so um die mittlere Phalanx gelegt, dass die Mitte desselben sich 2·2 ^{cm} vom I. Interphalangealgelenk entfernt, nur ein wenig proximal vom II. Interphalangealgelenk befindet. Der eine Schwamm ist 0·8 ^{cm} distal vom I. Interphalangealgelenk, der zweite in der Mitte des Nagelgliedes angelegt. Bei einer Reihe jetzt vorgenommener Hebungen entsteht constant ein eben merkliches Schweregefühl, wenn die Wagschale mit 8 ^{grm} belastet ist. Eine geringere Belastung wird nur hin und wieder gefühlt.[2] Jetzt wird der Strom, welcher von mässiger Stärke ist, d. h. eine mässig starke Empfindung und zugleich eine mässige Hypaesthesie setzt, geschlossen und es werden nun weitere Hebungen ausgeführt. Das vorige Gewicht wird jetzt über-

[1] Ueber den Muskelsinn und die Theorie der Ataxie. *Zeitschrift für klinische Medicin.* Bd. XV. Hft. 1 und 2.

[2] Da es sich nicht um Maassbestimmungen von absoluter Gültigkeit, sondern nur um Vergleichungen der Empfindung bei verschiedenen Versuchsbedingungen handelt, so habe ich es für besser gehalten, nicht Mittelwerthe festzustellen, sondern das bei einer Reihe von etwa je acht Hebungen constant gefühlte Gewicht als „Marke" zu betrachten.

haupt nicht mehr gefühlt und folglich zunehmend vergrössert. Erst bei 20 grm wird dasselbe nahezu constant empfunden; zu derselben Grenze gelange ich beim Verkleinern einer übermerklichen Belastung von 30 grm anfangend. Hiernach wird der Strom so weit verstärkt, dass eben gerade eine schmerzhafte Sensation entsteht und die Hypaesthesie bedeutend ist (ein solcher wird in der Folge einfach als „starker" Strom bezeichnet werden). Unter diesen Umständen werden 30 grm noch inconstant gefühlt. Dieser Herabsetzung der Schwereempfindung entspricht ein Zustand von Abstumpfung der Sensibilität, bei welchem an der Dorsalfläche des Fingers erst erheblicher, an der Volarfläche erst mässiger Druck überhaupt gespürt wird. Auch nach Oeffnung des Stromes ist die Herabsetzung der Schwereempfindung noch eine kurze Zeit lang vorhanden, woraus zur Evidenz folgt, dass dieselbe, wie bereits oben bemerkt, nicht eine Folge störender Paraesthesien, sondern der Aesthesie ist. Es wurde natürlich nicht unterlassen, unter die Hebungen bei Faradisation auch wieder solche bei geöffnetem Strom einzuschieben; ferner handelt es sich bei diesem sowohl wie bei den folgenden Versuchen nicht um einmalige Vornahmen und Ergebnisse, sondern um vielfältig wiederholte und an verschiedenen Tagen auf's Neue geprüfte. Es ist daher nicht angängig, die eben mitgetheilten Veränderungen der Schwereempfindung etwa auf Ermüdung zu schieben. Eine bemerkenswerthe Beobachtung muss hier Erwähnung finden: Unmittelbar nach dem Oeffnen des Stromes, falls dieser einen gewissen Grad von Stärke gehabt hat, erscheinen die Bewegungen auch des unbelasteten Fingers auffallend leicht. Wir haben im Allgemeinen nicht den Eindruck, als ob die active Bewegung der Finger mit irgend welchen Schwierigkeiten verknüpft sei. Aber das sinnfällige, leichte, luftige Gefühl, welches unter der Nachwirkung des anaesthesirenden Stromes bei activen Bewegungen vorhanden ist, deutet darauf, dass auch der unbelastete Finger der Muskelbewegung ein gewisses Maass von Widerstand entgegensetzt, welches mittelst seiner eigenen Sensibilität zu unserem Bewusstsein kommt, aber, da es eben von Anfang an mit jeder Bewegung verbunden ist, von uns in der Gesammtheit der während einer Bewegung in uns erregten Empfindungen und Vorstellungen verschmolzen wird. Wir werden hiernach schon vermuthen dürfen, dass wenigstens ein Theil der dem Muskelsinn zugeschriebenen Sinnesleistungen der Sensibilität der bewegten Segmente zufällt und auf das Eigengewicht derselben bezw. den durch Antagonistentonus gesetzten Widerstand zurückzuführen ist.

Durch die Hypaesthesie des bewegten Theils wird also die Schwere-Empfindung herabgesetzt; noch mehr jedoch, wenn der faradische Strom das in Bewegung gesetzte Gelenk selbst durchsetzt, wie der folgende Versuch beweist.

II. Versuch. Die Versuchsanordnung ist wie vorher, jedoch liegt jetzt der eine Schwamm proximal, der andere distal vom I. Interphalangealgelenk, und zwar höchstens je 1 cm von der Mitte des Gelenks entfernt. Bei mässigem Strome erregen unter dieser Anordnung 40 Gramm und bei starkem, etwas schmerzhaftem Strome erst 75 Gramm eine undeutliche und immer noch inconstante Schwere-Empfindung. Die das Gelenk bedeckende Haut ist hierbei ausserordentlich anaesthetisch, in geringerem Grade das Hautgebiet, an welchem das Band angelegt ist.

Um den Einfluss der Sensibilität des bewegten Theils nun auch beim directen Heben vergleichsweise festzustellen, wurden Bewegungen im Metacarpo-Phalangeal-Gelenk ausgeführt. Damit weichen wir allerdings noch mehr von dem geforderten Schema der eingliederigen Bewegung ab, allein dennoch werden diese Versuche für die vorliegende Frage gewisse Schlüsse erlauben.

III. Versuch. Der mit der Beugefläche nach oben gerichtete Unterarm wird auf einem mit einem Kissen bedeckten länglichen Kistchen, die ebenso gerichtete Hand auf eine ausgehöhlte gepolsterte Krücke gelagert, welche auf einem niedrigen festen Stativ befestigt ist. Die Hand liegt so, dass das Metacarpo-Phalangeal-Gelenk des Zeigefingers frei ist, und wird von einem Gehülfen von oben her gegen die Krücke angedrückt erhalten. Das Band, an welchem die Wagschale direct herabhängt, ist unmittelbar proximal vom II. Interphalangealgelenk angelegt. Die Schwämme liegen wie im I. Versuch, also distal vom I. Interphalangealgelenk und um die Mitte des Nagelgelgliedes, sodass der Strom im Wesentlichen nur den distalen Halbfinger durchsetzt. Ohne Strom entsteht bei einer Belastung von 10 grm[1] ein eben merkliches constantes Gefühl der Schwere; bei starkem Strom werden selbst 30 grm nur inconstant gefühlt.

IV. Versuch. Die Anordnung ist wie vorher, nur dass die Schwämme unmittelbar proximal und distal vom Metacarpo-Phalangeal-Gelenk liegen. Der distale umgiebt den Finger, der proximale befindet sich am Handrücken und erstreckt sich in schräger Richtung von der Mitte des II. bis zur Mitte des I. Spatium interosseum. Ohne Strom erwecken wie oben 10 grm eine constante Schwere-Empfindung, während bei starkem Strom erst 55 grm nahezu constant empfunden werden, welche bei normaler Sensibilität sehr schwer erscheinen. Die Anaesthesie der Haut ist am distalen Halbfinger bei diesem Versuch geringer als bei dem vorigen, obwohl die Abstumpfung der Schwere-Empfindung einen höheren Grad erreicht hat.

[1] Bei den Hebungen ohne Rollenübertragung ist das Gewicht der Wagschale mit Fäden (im Betrage von 5 grm) stets schon in der Belastung eingerechnet.

Dieser Versuch ist übrigens weniger brauchbar als die vorigen, weil er in Folge der Nähe der Mm. interossei den Gegensatz zwischen bewegtem Segment und bewegendem Nerven-Muskel-Apparat weniger rein zum Ausdruck bringt.

Die Hypaesthesie des bewegten Theiles, sogar wenn sie nur einen Theil desselben umfasst, bewirkt also auch beim directen Heben eine Abstumpfung der Schwere-Empfindung.

Es entsteht nun die Frage, welcher Theil der peripherischen Gebilde es ist, dessen Sensibilität in dieser Beziehung von Wichtigkeit ist. Das Interesse wird sich naturgemäss zunächst auf die Haut richten, umsomehr als man gerade beim Finger geneigt ist, der Druck-Empfindung der Haut einen Antheil an den durch das Heben von Gewichten entstehenden Empfindungen zuzuschreiben. Allein es wird sich zeigen, dass das Hautgefühl thatsächlich nicht betheiligt ist.

V. Versuch. An einem Stativ befindet sich unten eine verstellbare Platte, in einer gewissen Höhe über ihr ein verstellbares kurzes wagerechtes Stäbchen. Die linke Hand wird mit ihrer Rückenfläche in die oben erwähnte Krücke gelegt, der mit der Vola nach oben gerichtete Zeigefinger wird horizontal ausgestreckt und mit dem Nagel auf das Stäbchen des Stativs gelagert. Unmittelbar proximal vom II. Interphalangealgelenk ist um den Finger eine mit Wasser gefüllte Gummi-Manschette angebracht, welche in ihrer Form den Manschetten entspricht, deren ich mich bei den Versuchen über passive Bewegungen bedient und welche ich im ersten Theil meiner Abhandlung beschrieben habe. Sie ist als entstanden zu denken aus einer einfachen Manschette, deren eine Hälfte umgebogen und an ihrem freien Rande mit dem anderen freien Rande der Manschette verschmolzen ist. Ein angesetztes Schlauchstück, welches die äussere Lamelle durchbohrt, führt in den Binnenraum der Manschette und gestattet, dieselbe mittelst einer Druckspritze mit Wasser prall anzufüllen. Der Schlauch wird nach der Füllung mit einer Arterienklemme verschlossen. Um die auf den Finger gezogene Gummi-Manschette ist ein Band gelegt, welches die Wagschale trägt. Durch diese Vorrichtung wird die Druckwirkung des Gewichts auf die Haut ungemein abgeschwächt. Die belastete Wagschale wird nun auf die verschiebbare Platte aufgestellt und letztere, während ich selbst wie immer bei derartigen Versuchen die Augen abwende oder schliesse, von einem Gehülfen gesenkt, bis die Wagschale dieselbe verlässt. In diesem Moment erwächst für den Finger, welcher ruhig in seiner Lage bleibt, eine Belastung. Bei der von mir verwendeten Manschette tritt nun erst bei einer Last von 50 ^{grm} eine ganz leichte Druckempfindung am Finger auf. Sobald der Finger aber activ angehoben wird,

ist sofort eine intensive Empfindung der Schwere vorhanden, und die untere Grenze der Empfindung zeigt sich hierbei ungemein viel niedriger als bei der passiven Lastung, denn schon 8 grm erwecken beim Anheben ein ziemlich deutliches Gefühl der Schwere.

Wenn es sich auch in dem ersten Theile des Versuchs streng genommen nicht um eine blos passive Lastung gehandelt hat, da die Segmente des Fingers dem Zuge des Gewichts entgegen immerhin noch gehalten werden mussten, so beeinträchtigt doch dies nicht den aus dem Versuch zu ziehenden Schluss, dass die Druckwirkung auf die Haut keine wesentliche Rolle spielt. Denn in dieser Beziehung kann sich durch das Anheben doch nichts ändern. Zu demselben Resultat führten Versuche, bei denen die Hautstelle, auf welche der Druck des das Gewicht tragenden Bandes wirkte, gefühllos gemacht wurde.

VI. Versuch. Die Hebebewegung wird im linken Ellbogengelenk ausgeführt und zwar bei halb pronirtem Unterarm, sodass die radiale Hälfte des Handrückens direct nach oben sieht. Das Band, welches die Wagschale trägt, ist quer über die Mitte des Handrückens gelegt; die Verlängerung der die Zugrichtung des Gewichts angebenden Verticalen nach oben trifft somit in der Mitte der Mittelhand den Bereich des I. Spatium interosseum und des II. Mittelhandknochens. Unmittelbar vor und hinter dem Bande werden nun in diesem Bereich zwei längliche, dem Bande parallel gerichtete Schwammstücke als Elektroden applicirt und mittelst Gummibänder befestigt. Schliesst man den Strom, so wird bei genügender Stärke desselben die zwischen den Schwämmen befindliche, vom Bande zum Theil bedeckte Haut, ausserordentlich hypaesthetisch. Trotzdem jedoch habe ich bezüglich der unteren Grenze der Schwereempfindung keinen Unterschied constatiren können, mochte nun die Hebung ohne oder mit Strom ausgeführt werden.

Dies Ergebniss zeigte nebenbei, dass es nicht etwa eine durch den Strom und die von ihm hervorgebrachten Sensationen gesetzte Beeinflussung des Auffassungsvermögens ist, welche die oben berichtete Abstumpfung der Schwereempfindung erzeugt hätte. Uebrigens aber lässt der Versuch mit Bezug auf die vorliegende Frage den Einwand zu, dass die Haut der übrigen seitlichen Gebiete der Hand, welche zwar nicht in der directen Zugrichtung lagen, aber doch immerhin mit dem Bande in Berührung sich befanden, vom Strome nicht getroffen wurden.

VII. Versuch. Die Hebebewegung wird im linken Handgelenk ausgeführt. Um das Nagelglied des mit der Vola nach oben gerichteten Zeigefingers ist die gefüllte Gummimanschette gelegt. Unmittelbar vor

und hinter ihr sind die ringförmig um den ganzen Umfang des Fingers befestigten Schwämme applicirt. Es muss besonders betont werden, dass wie bei allen so auch bei diesem Versuch die Bewegung nur in einem Gelenk stattfand, d. h. dass die vier Segmente Mittelhand bis Nagelglied steif gehalten und wie ein einziges Segment bewegt wurden. Bei dieser Anordnung nun erregten 20 grm ein undeutliches und wenig constantes Gefühl der Schwere, 25 grm dagegen ein deutliches und constantes, 40 grm ein starkes Schweregefühl. Wurde jetzt ein starker Strom angewendet, so wurden 25 grm undeutlich, aber noch leidlich constant, 30 grm ziemlich deutlich und constant, 40 grm erheblich schwächer als vorher, aber doch deutlich gefühlt. Dabei ist die Fingerspitze so hypaesthetisch, dass der stärkste Eindruck mit einer Scheerenspitze nicht empfunden wurde und es lässt sich annehmen, dass es sich ebenso zwischen den Schwämmen verhalten habe, denn bei Weglassung der Manschette und Anwendung derselben Stromstärke zeigte sich nach kurzer Zeit dieselbe Gefühllosigkeit in dem Gebiet, welches vorher von der Manschette bedeckt gewesen war.

Bei diesem Versuch war somit das ganze in Betracht kommende Hautgebiet gefühllos gemacht. Aber allerdings ist hier auch eine Beeinträchtigung der Sinnesleistung vorhanden gewesen. Nun handelte es sich offenbar nicht blos um eine Hautanaesthesie, sondern um eine tiefgehende, alle Gewebe, speciell auch das II. Interphalangealgelenk und die Sehnen betreffende Herabsetzung der Empfindlichkeit. Wir werden daher gemäss den Ergebnissen der ersten Versuche das hiesige Resultat erklärlich finden. Aber trotzdem lässt sich mit aller Bestimmtheit sagen, dass die immerhin doch geringfügige Beeinträchtigung der Schwereempfindung zu dem hohen Grade von Hautanaesthesie, welcher hier vorlag, in einem so schlechten Verhältniss steht, dass damit die Betheiligung der Hautnerven an dem Entstehen der Schwereempfindung einwandlos widerlegt ist. Dies wird durch die folgende Versuchsanordnung bestätigt, bei welcher die Anaesthesie noch mehr auf den Angriffspunkt des Gewichtes beschränkt ist.

VIII. Versuch. Die hebende Bewegung wird im Metacarpo-Phalangeal-Gelenk des linken Zeigefingers ausgeführt, welcher in seinen Segmenten gestreckt gehalten wird. Beide Schwämme befinden sich an dem Nagelgliede und zwischen ihnen ist das Gewicht an einer um den Finger gelegten Schnur, also ohne Manschette, applicirt. Die Hebung wird direct, ohne Einfügung von Rollen, ausgeführt, so dass die Volarfläche nach oben gerichtet ist. Wird nun ein starker Strom durch das Nagelglied geführt, sodass eine sehr erhebliche Anaesthesie desselben entsteht, so ist dennoch die Schwereempfindung so gut wie gar nicht verschlechtert; eine Belastung von 10 grm wird bei geschlossenem wie geöffnetem Strom constant gefühlt

und 20 grm erregen unter beiden Bedingungen eine recht deutliche Schwereempfindung. Je mehr nun aber der proximal gelegene Schwamm in der Richtung auf das Metacarpo-Phalangeal-Gelenk zurückgeschoben wird, desto mehr erleidet die Schwereempfindung Einbusse.

Die Irrelevanz der Hautempfindung für die in Rede stehende Sinnesleistung ergiebt sich auch daraus, dass es für die Intensität der Schwereempfindung keinen nennenswerthen Unterschied macht, ob das mit dem Gewicht belastete Band unmittelbar über die Haut oder über die prall gefüllte Gummimanschette gelegt wird, welche doch die Druckwirkung auf die Haut ausserordentlich abschwächt. In welchem Grade dies geschieht, geht aus dem oben berichteten Umstande hervor, dass ein hängendes Gewicht erst, wenn es 50 grm erreichte, gefühlt wurde; wenn bei fixirtem Finger ein an einem Faden befestigtes Gewicht auf die um das Nagelglied gelegte Manschette gesenkt wurde, so entstand eine Druckempfindung sogar erst bei 80 grm. Uebrigens zeigten die einzelnen Phalangen in dieser Beziehung Unterschiede, derart, dass am Nagelgliede die kleinsten, an der Grundphalanx die grössten Gewichte erforderlich waren. Bei leicht gekrümmter Haltung des Zeigefingers wird durch active Hebung im Metacarpo-Phalangeal-Gelenk selbst ein am Nagelgliede aufgehängtes 2-Gramm-Gewicht als schwer empfunden. Es werden nun Versuchsreihen vergleichsweise so angestellt, dass kleine Gewichte einerseits unmittelbar über das Nagelglied, andererseits über die aufgezogene Manschette gehängt werden, wobei sich ergiebt, dass nur bei Gewichten unter 5 grm ein merklicher Unterschied der Empfindung vorhanden ist. Freilich gewährt das Heben mit der Manschette immerhin einen fremdartigen Eindruck in Folge des Fehlens der Hautempfindung, an welchen man sich zuvörderst zu gewöhnen hat. Man überzeugt sich dann aber leicht, dass die gewohnte begleitende Tast- und Druckempfindung unbeschadet der Sinnesleistung entbehrt werden kann. Bei den kleinen Gewichten in der angegebenen Grenze scheint allerdings die Hautsensibilität mitzuwirken; es ist jedoch noch zu bedenken, dass die durch das Eigengewicht der gefüllten Manschette (14 grm) dargestellte Anfangsbelastung des Nagelgliedes vielleicht zur Herabsetzung der Empfindungsleistung beiträgt.

Dass die Hautsensibilität einen wesentlichen Antheil an dem Gefühl der Schwere nehmen sollte, ist von vornherein nicht anzunehmen, weil letzteres sich von der Länge des Hebelarmes, an welchem das Gewicht wirkt, abhängig zeigt und weil die physiologischen Feststellungen E. H. Weber's über die Unterschiedsempfindlichkeit sowie die pathologischen Beobachtungen Eigenbrodt's und Leyden's die Unabhängigkeit der Fähigkeit Gewichte zu unterscheiden vom Drucksinn lehren. Dennoch ist es wichtig hervorzuheben, dass im Allgemeinen Hautsensationen in den etwa-

igen Empfindungscomplex, auf Grund dessen wir unsere Vorstellungen über die Schwere bilden, überhaupt nicht eingehen.

Da andererseits aber die Sensibilität des bewegten Theils als von erheblicher Bedeutung sich erwiesen hat, so müssen wir unter den tieferen Gebilden: Fascien, Periost, Knochen, Gelenken, Sehnen den oder die Träger der Schwereempfindung vermuthen. Die obigen Erfahrungen nun über den Unterschied der Sinnesleistung bei passiver Lastung und beim activen Heben, ferner die angezogenen Beobachtungen Weber's, Eigenbrodt's, Leyden's machen es wenig wahrscheinlich, dass Fascien, Periost und Knochen eine Rolle spielen und unser Interesse wird sich daher den Gelenken und Sehnen zuwenden.

Ob nun erstere oder letztere oder beide Gebilde für die Schwereempfindung wichtig sind, würde sich ermitteln lassen, wenn man die durch den faradischen Strom zu erzielende Anaesthesie auf die einen oder anderen isolirt localisiren könnte, was jedoch unmöglich ist, da auch die distal von den Schwämmen gelegenen Partieen in Folge der in den Nervenstämmen gesetzten Leitungsstörung gefühllos gemacht werden. Die obigen Versuche, welche ergeben haben, dass die partielle Durchströmung des distal vom bewegten Gelenk gelegenen Theiles die Schwereempfindung weniger beeinträchtigt, als die Durchströmung des Gelenkes selbst, erlauben daher den Einwand, dass bei letzterem Modus nur eine ausgebreitetere Hyperaesthesie herbeigeführt werde. Für diese Möglichkeit spricht besonders folgender Versuch.

IX. Versuch. Die Hebebewegung wird im Metacarpo-Phalangealgelenk des mit der Vola nach oben gerichteten linken Zeigefingers ausgeführt. Die Belastung ist unmittelbar proximal vom II. Interphalangealgelenk angebracht. Von den Schwämmen liegt der eine ca. $1 \cdot 5^{cm}$ distal vom Metacarpo-Phalangealgelenk, der andere an der Mitte des Nagelgliedes. Ohne Strom werden 10^{grm} constant als eben merklich gefühlt. Bei starkem Strom jedoch sind 45^{grm} noch nicht, 50^{grm} eben merklich, und zwar nicht ganz constant.

Es hatte sich nämlich früher (Versuch IV) an demselben Gelenk bei Durchströmung dieses selbst, im Uebrigen aber gleichen Versuchsbedingungen, ergeben, dass während des Stromschlusses die Grenze der Merklichkeit von 10^{grm} auf 55^{grm} gestiegen war. Die Vergleichung beider Ergebnisse spricht gewiss für die Vermuthung, dass der Faradisation des Gelenkes keine specifische, sondern nur die Bedeutung einer weiter ausgebreiteten Hyperaesthesie zukomme. In demselben Sinne würde sich die Beobachtung, dass eine auf die Angriffsstelle des Gewichts beschränkte Gefühllosigkeit so gut wie gar keinen Einfluss ausübe, verwerthen lassen.

Andererseits jedoch könnte man aus den mitgetheilten Versuchen den entgegengesetzten Schluss ziehen, dass es lediglich auf das bewegte Gelenk ankomme und dass bei distaler Durchströmung die Schwereempfindung um so viel Einbusse erleide, als das Gelenk von Stromschleifen durchsetzt werde, deren Verlauf ja uncontrolirbar ist.

Ehe nun die Erledigung dieser Alternative, welche durch das Mittel des faradischen Stromes nicht wird bewirkt werden können, bei Seite gestellt wird, ist hervorzuheben, dass der Gegensatz von Gelenk und bewegtem Segment in obigen Versuchen überhaupt nicht rein zum Ausdruck gebracht ist, weil sich dieselben von dem Schema der eingliederigen Bewegung entfernt haben. Denn wenn auch in dem das erste und zweite Fingersegment verbindenden Gelenk eine Bewegung nicht stattfand, so ist doch auf dasselbe ebenfalls ein Drehungsmoment durch die Belastung ausgeübt worden, welches durch ein entgegengesetzt, d. h. im Sinne der Hebung gerichtetes vernichtet werden musste. Es wird deshalb erforderlich sein, eine Anordnung zu treffen, bei welcher ausser dem bewegten Gelenk keine anderen von der Belastung getroffen sind.

X. Versuch. Die Hebebewegung wird im Metacarpo-Phalangealgelenk des linken Zeigefingers ausgeführt. An die Vola der Grundphalanx wird eine Fingerschiene von starker Pappe angelegt und mittelst dicker Gummiringe befestigt. Kurz vor dem I. Interphalangealgelenk ist dieselbe leicht volarwärts abgebogen und erstreckt sich so in etwas schief vom Finger abstehender Richtung bis in die Höhe der Fingerspitze, ohne irgendwo das mittlere und Nagelglied zu berühren. An der Basis der Grundphalanx ist ein Elektrodenschwamm um den Finger gelegt und mittelst Gummiband befestigt. Um den übrigen Theil der Schiene entsprechend vom Finger abzuheben, ist die Grundphalanx mit Watte umgeben. Unmittelbar proximal vom I. Interphalangealgelenk ist ausserdem noch ein schmaler, aus einer runden durchbohrten Kautschukscheibe hergestellter Ring um den Finger gelegt, welcher den sich abbiegenden Theil der Schiene stützt. Der andere Schwamm ist proximal vom Metacarpo-Phalangealgelenk applicirt, wie im IV. Versuch. In der Höhe derselben Stelle, an welcher bei den früheren Versuchen das Gewicht angehängt war, nämlich unmittelbar proximal vom II. Interphalangealgelenk, ist mittelst einer Bandschlinge die belastete Wagschale an der abstehenden Schiene applicirt. Letztere wird bei den zur Anwendung gelangenden Gewichten wohl etwas herabgezogen, niemals aber kommt es zur Berührung der Fingerhaut distal von dem erwähnten stützenden Gummiringe. Es zeigt sich nun, dass unter diesen Umständen auch ohne Strom die Schwereempfindung von geringerer Feinheit ist als früher. Es werden nämlich (statt 10 grm) erst 25 grm constant

als schwer empfunden. Durch die grössere Anfangsbelastung, welche nur 9 grm beträgt, kann dies nicht erklärt werden. Sobald nun ein starker Strom durch das Gelenk getrieben wird, erwecken 75 grm noch eine ganz undeutliche inconstante, 90 grm eine ziemlich und 100 grm eine völlig constante Empfindung. 55 grm, welche früher (s. Versuch IV) den Grenzwerth bei Faradisation des Gelenkes gebildet hatten, werden jetzt überhaupt nicht gefühlt.

Durch diesen Versuch wird zunächst die Berechtigung der Vermuthung, dass die eingliederige und mehrgliederige Bewegung für die Schwereempfindung nicht identisch sind, bestätigt; denn die von vorn herein bestehende Minderempfindlichkeit kann auf nichts anderes bezogen werden, als auf den Ausschluss der distalen Segmente von der Belastung. Weiter hat sich ergeben, dass auch bei der eingliederigen Hebung die Faradisation des bewegenden Gelenkes eine erhebliche Abstumpfung der Schwereempfindung setzt. Um nun weiter den Einfluss einer verschiedenartigen Localisation des Stromes zu prüfen, wird zunächst der Angriffspunkt der Belastung geändert, da die über den Finger herabhängende Bandschlinge durch Berührung der Haut stört.

XI. Versuch. Die Versuchsanordnung ist wie vorher, nur dass die jetzt angewendete Schiene nicht in der Höhe der Fingerspitze ihr Ende findet, sondern sich über diese hinaus verlängert. An der Verlängerung wird in 14 cm Entfernung vom Metacarpo-Phalangealgelenk das Band mit der Wagschale applicirt. Die Schwämme sind zunächst so angeordnet, dass der eine distal von dem letztgenannten, der andere proximal vom I. Interphalangealgelenk liegt. Der stützende Gummiring muss weggelassen werden, zeigt sich im Uebrigen auch als entbehrlich, da die Schiene durch den Schwamm genügend abgehoben wird. Ohne Strom wird die Wagschale für sich (5 grm) schon ziemlich constant als schwer empfunden (der Hebelarm beträgt etwa das dreifache des im vorigen Versuch zur Anwendung gekommenen). Sobald nun ein starker Strom die Grundphalanx durchsetzt, muss die Belastung auf 30 grm erhöht werden, um ein immer noch undeutliches, aber annähernd constantes Gefühl zu verursachen. Die Haut des Metacarpo-Phalangealgelenkes ist hierbei gleichfalls etwas in ihrer Empfindlichkeit herabgesetzt, aber ungemein viel weniger, als die der fast gefühllosen Grundphalanx. Es werden nun die Schwämme so wie im vorigen Versuch angeordnet, derart, dass das bewegte Gelenk selbst in die grösste Stromdichte eingeschaltet ist. Jetzt werden bei starkem Strom selbst 65 grm noch wenig deutlich und nicht ganz constant empfunden. Es braucht wohl kaum erwähnt zu werden, dass eine Berührung der Haut der distalen Segmente auch in diesem Versuche nicht stattfand. Dass die

Schwereempfindung hier nicht in demselben Grade gestört erscheint, als im X. Versuch, sondern in einem höheren, dürfte kaum Anstoss erregen.

Somit hat auch bei streng eingliederiger Hebung die Faradisation des hebenden Gelenkes stärkeren Einfluss auf die Schwereempfindung gezeigt, als die des bewegten Segmentes distal vom Gelenk. Damit ist denn auch die Brauchbarkeit der früheren Versuche für die jetzt behandelte Frage nachgewiesen. Darüber, ob es lediglich auf die Herabsetzung der Gelenksempfindlichkeit oder ob es auf eine möglichst ausgebreitete Herabsetzung der Sensibilität der tieferen Gebilde des Segmentes, speciell der Sehnen, oder ob es endlich auf Sehnen und Gelenke ankommt, klären uns auch die letztberichteten Versuche nicht auf. Allein es muss doch bemerkt werden, dass die Faradisation des Gelenkes zugleich eine ausgebreitetere Hypaesthesie der Sehnen setzen wird, als die Faradisation des Segmentes selbst, und dass dieselben, da sie nicht weit vom Gelenk sich anzusetzen pflegen, bei der Gelenkfaradisation wahrscheinlich in eine grössere Stromdichte gelangen, als bei der distalen. Der etwa zu erhebende Einwand, dass bei der Durchströmung des Metacarpo-Phalangealgelenkes ein Theil der Wirkung auf eine Afficirung der Mm. interossei komme, erledigt sich wohl dadurch, dass die vorzüglichere Wirkung der Gelenkfaradisation sich eben auch beim I. Interphalangealgelenk gezeigt hat.

Nachdem nun dasjenige, was mittelst der Methode der Faradisation über die schematische eingliederige Hebebewegung zu ermitteln ist, beschrieben worden, möge im Folgenden untersucht werden, welche Rolle bezüglich der Schwereempfindung diejenigen Segmente, bez. Gelenke spielen, welche distal von demjenigen Segment liegen, an welchem zunächst die Hebebewegung stattfindet. Aus dem X. Versuch ging bereits hervor, dass beim Ausschluss der „distalen Segmente“ die Schwelle der Schwereempfindung um etwas nach oben gerückt ist. Wenn dort kurz behauptet wurde, dass dies eben nur auf den functionellen Ausfall der distalen Segmente zu schieben sei, so bedarf dies hier noch des eingehenderen Beweises. Man könnte nämlich zunächst die Frage aufwerfen, ob nicht der Ausfall der Druckempfindung der Haut sich an diesem Ergebniss betheilige. Allein es ist oben nachgewiesen worden, dass die Anaesthesie des Angriffspunktes der Belastung, ausser bei sehr kleinen Gewichten, die Schwereempfindung nicht beeinträchtigt. Dass die durch die Schiene bedingte Mehrbelastung des Fingers nicht in's Gewicht fällt, lässt sich leicht demonstriren: man befestigt die abstehende Schiene wie oben an der Grundphalanx und hängt das Gewicht einmal direct an der Fingerspitze auf, das andere Mal in der Höhe der Fingerspitze über die Schiene. Im ersteren Falle ist die normale Deutlichkeit und Stärke der Schwereempfindung vorhanden, im letzteren nicht. Endlich könnte man hervorheben, dass durch das Anschnüren

der Schiene an die Grundphalanx die Sensibilität derselben beeinträchtigt werde. Dies ist thatsächlich der Fall, wenn auch nur in geringem Grade. Allein es wird sich lediglich um die Hautsensibilität handeln, welche ja gleichgültig ist. Im Uebrigen aber wurde der Versuch auch mit Handschiene, sowie Unterarmschiene angestellt, ohne dass eine Hypaesthesie an der Anlagerungsfläche entstand.

Viel bemerkenswerther nun als die immerhin nicht erhebliche Vergröberung der Empfindungsschwelle ist eine qualitative Veränderung des Sinneseindruckes, welche durch den functionellen Wegfall der distalen Segmente gesetzt wird. Während nämlich sonst die deutliche Vorstellung von einem ausserhalb des Fingers befindlichen schweren Object entsteht, welches an einer bestimmten Stelle des Fingers angreift und welches in einer bestimmten Raumlage localisirt wird, so hat man unter den in Rede stehenden Umständen nur die Empfindung, dass unsere Bewegung erschwert werde, man hat bei grösserer Aufmerksamkeit auch ein diffuses Spannungsgefühl, allein man projicirt diese Schwere-Empfindung nicht auf irgend etwas Aeusseres, sondern verlegt sie in die eigenen Gliedmaassen. Der Unterschied ist damit nicht erschöpft: beim mehrgliedrigen Abheben eines Gewichtes tritt uns dasselbe gleichsam plötzlich entgegen und wir fühlen den Widerstand, welchen es uns bietet, ehe wir es heben; beim eingliederigen Abheben dagegen fühlt man nur, dass die bis jetzt leichte Bewegung schwerer von Statten geht und zwar kann man bei langsamer Bewegung und guter Aufmerksamkeit bemerken, dass sie zunehmend schwerer wird und dann sich gleich bleibt; aber es fehlt das Moment des plötzlich auftretenden Hindernisses in dem uns zugehenden Eindrucke.[1]

Dieser bemerkenswerthe Unterschied der Sinneseindrücke lässt sich nachweisen, an welchem Segment es auch sei. Er ist am wenigsten ausgesprochen, wenn man an der mittleren Phalanx eine vom II. Interphalangealgelenk an abstehende Schiene befestigt und nun ein Gewicht, welches entweder direct an der Fingerspitze oder an der entsprechenden Schienenstelle applicirt ist, mittelst Beugung im I. Interphalangealgelenk abhebt. Hier handelt es sich nur um ein einziges Segment, welches ausfällt. Ein sehr markantes Resultat dagegen erhält man, wenn man die Hebebewegung im Handgelenk ausführt. Die Schiene besteht aus einem in die Hohlhand passenden rundlichen und einem schmalen länglichen Theil, welcher an der Stelle des Zeigefingers aus dem Handtellertheil entspringt. Letzterer wird an der Hand befestigt, was, wie schon bemerkt, sehr wohl

[1] Es muss darauf hingewiesen werden, dass die Hebebewegung langsam und, wie überhaupt in allen Versuchen, so geschehen muss, dass dem Abheben ein wenn auch nur kurzes Stadium freier Bewegung vorhergehen muss.

so geschehen kann, dass keine nachweisbare Herabsetzung der Sensibilität entsteht, und nun wird das Gewicht entweder am Nagelgliede des Zeigefingers direct oder an der demselben entsprechenden Stelle der Schiene, und zwar bei möglichster Streckung des Fingers im Metacarpo-Phalangeal-Gelenk angebracht und mittelst Beugebewegung im Handgelenk abgehoben. Letzteren Falls hat man nur das beschriebene Gefühl der erschwerten Bewegung, ersteren Falls den localisirten Eindruck des schweren Objects mit allen Attributen und übrigens auch von etwas grösserer Intensität. Nicht anders verhält es sich, wenn man die Hebebewegung im Ellbogengelenk ausführt.

Um nicht durch die bei dem einen Modus vorhandene, bei dem anderen fehlende Hautsensation am Angriffspunkte der Last — welche ja gleichgültig ist — irritirt zu werden, bedient man sich zweckmässiger Weise der Gummi-Manschette zum Anhängen des Gewichts. Noch einfacher und schlagender aber ist ein anderes Verfahren, welches zugleich den Vortheil gewährt, bei beiden zum Vergleich gelangenden Versuchsbedingungen die Belastung lediglich an der Schiene selbst befestigen zu können. Dasselbe besteht einfach darin, dass man die Schiene an allen distalen Segmenten befestigt und die Last an der Verlängerung der Schiene anbringt; bezüglich der abstehenden Schiene ändert sich nichts. Man führt also z. B. die Hebung im Metacarpo-Phalangeal-Gelenk in folgender Weise aus: Eine der sonst benutzten abgebogenen Schiene ganz entsprechende gerade Fingerschiene wird vom Metacarpo-Phalangeal-Gelenk ab an die Vola des ganzen Zeigefingers angelegt und an jeder Phalanx befestigt. An der Verlängerung der Schiene, distal von der Fingerspitze, wird das Gewicht applicirt. Behufs Vergleichung wird die abstehende Schiene an der Grundphalanx angebracht und in derselben Entfernung vom Gelenk auch hier die Last befestigt. Man hat im ersteren Falle den Eindruck eines ausserhalb befindlichen Gewichtes, im letzteren nur die Empfindung einer schweren Bewegung. Ebenso deutlich ist der Unterschied, wenn man bei Bewegung im Handgelenk die Hand- und Fingerschiene an der Hand und allen Fingergliedern, bei Bewegung im Ellbogengelenk die Unterarm-Hand-Fingerschiene in entsprechender Weise befestigt und im Gegensatz dazu mit der abstehenden Schiene hebt. Die beiden Versuchsanordnungen unterscheiden sich lediglich dadurch, dass bei der einen die distalen Segmente mit der Schiene in Verbindung gebracht sind, bei der anderen nicht; man muss also den Unterschied des Sinneseindruckes auf die Mitwirkung der distalen Segmente beziehen. Dies ist aber geradezu überraschend, da die Activität derselben gleichsam ausgeschaltet ist. Denn das Drehungsmoment, welches ihnen der hebende Muskelzug ertheilen würde, wird durch die Befestigung an der starren Schiene vernichtet; nur das proximale Segment

kann dem Muskelzuge folgen und nimmt die Schiene und mit ihr, wie man meinen sollte, auch die distalen Segmente mit fort. Aber selbst wenn man trotzdem den starren distalen Segmenten eine active Betheiligung an der Arbeitsleistung zugestehen wollte, so ist doch letztere in keiner Weise grösser als bei Ausschluss jener und man wird doch nicht in dem Umstande, dass dieselbe Arbeit sich auf eine grössere Anzahl von Muskeln vertheilt, einen Grund für die intensivere und zugleich qualitativ verschiedene Empfindung erblicken können. Es handelt sich somit um eine Erscheinung, welche sich durch die active Mitwirkung der distalen Segmente zunächst nicht völlig erklären lässt, während sie doch an das Vorhandensein der Segmente geknüpft ist und nach unseren gewohnten Vorstellungen nur mit einer activen Bewegung sich in Verbindung bringen lässt. Wie wenig die Hautsensibilität der distalen Segmente in Betracht kommt, geht aus folgender Anordnung hervor.

XII. Versuch. Die Hand-Fingerschiene wird an der Hohlhand befestigt und steht vom Zeigefinger selbst ab. Letzterer wird am Nagelgliede mit der prall gefüllten Gummi-Manschette bekleidet. An der Verlängerung der Schiene, ein wenig distal von der Fingerspitze, wird ein 5-Gramm-Gewicht angehängt und mittelst Beugebewegung im Handgelenk von der Unterlage abgehoben. Hierbei tritt nur ein undeutliches Gefühl einer erschwerten Bewegung auf. Sobald aber durch eine geringe Krümmung des Fingers die Manschette leicht an die Schiene angelegt und in dieser Haltung die Hebebewegung wie vorher im Handgelenk ausgeführt wird, ist sofort der objectivirte Eindruck eines Gewichtes und zugleich oder vielmehr ihm vorausgehend derjenige eines plötzlich entgegentretenden Widerstandes vorhanden. Es ist nun nach den früheren Erfahrungen nicht anzunehmen, dass die Druckwirkung durch die Manschette hindurch eine merkliche Hautsensation, beziehungsweise einen merklichen Zuwachs zu der schon von der Manschette gesetzten Druckempfindung erregt habe.

Der Unterschied des Sinneseindruckes bei freier activer Mitwirkung der distalen Segmente einerseits und bei Befestigung derselben an die Schiene andererseits ist nur ein sehr geringer, wie aus folgendem Parallelversuch hervorgeht.

XIII. Versuch. Die Hebebewegung wird im linken Ellbogengelenk ausgeführt, wobei der Oberarm an den Leib gepresst gehalten wird. An der Vola des Unterarms wird die Unterarm-Hand-Fingerschiene befestigt, bei dorsalwärts abgebogener Hand. In der Höhe der Mitte des Nagelgliedes vom Zeigefinger wird an der abstehenden Schiene mittelst Schlinge ein 20-Gramm-Gewicht angehängt. Beim Abheben desselben kommt es

nur zu einer sehr dumpfen und inconstanten Empfindung erschwerter Bewegung. Sodann wird auch der Hand- und Fingertheil der Schiene mit den entsprechenden Segmenten in Verbindung gebracht und die Hebung nun so ausgeführt, dass dasselbe Gewicht an der alten Stelle über die Schiene gehängt ist. Jetzt tritt der mehrfach charakterisirte objectivirte Eindruck des Widerstandes und der Schwere mit völliger Deutlichkeit hervor. Endlich wird das Gewicht an das Nagelglied selbst gehängt, während die Schiene bleibt, aber nur am Unterarm befestigt ist. Der Eindruck der Schwere sowohl wie des Widerstandes ist hierbei noch etwas intensiver, die Localisation im Raum noch etwas deutlicher als vorher, aber der Unterschied ist nur ein geringer, gradweiser, und nicht zu vergleichen mit dem qualitativen des ersten und zweiten Verfahrens.

Dass nun die Bedeutung, welche die distalen Segmente für die Empfindung der Schwere haben, thatsächlich lediglich auf ihrer Sensibilität beruht, wird durch den folgenden Versuch bewiesen.

XIV. Versuch. Die Hebebewegung wird im Ellbogengelenk ausgeführt, wobei der Oberarm an den Leib gedrückt erhalten wird. An der Beugefläche des Unterarms wird die Unterarm-Hand-Fingerschiene befestigt, von welcher die Hand durch Dorsalflexion abgebogen ist. Um den Zeigefinger werden mittelst Gummibänder die beiden Elektroden-Schwämme applicirt und zwar der eine proximal vom I., der andere distal vom II. Interphalangealgelenk. Als Last dient ein 10-Gramm-Gewicht. Die Hebung geschieht nun unter folgenden vier Bedingungen:

1. Das Gewicht ist direct am Nagelgliede, um die Mitte desselben, aufgehängt.

2. Es ist in derselben Höhe an der abstehenden Schiene aufgehängt.

3. Es ist wie bei 2. applicirt, aber bei gleichzeitig geschlossenem Strome.

4. Es ist wie bei 1. applicirt, ebenfalls bei gleichzeitig geschlossenem Strome.

Das 1. und 2. Verfahren zeigt den mehrfach beschriebenen Unterschied des Sinneseindrucks in aller Deutlichkeit. Das 3. und 4. Verfahren nun unterscheidet sich im Effect durchaus nicht von dem 2.: es entsteht ebendieselbe dumpfe Empfindung der erschwerten Bewegung wie dort. Es ist somit für die Sinnesleistung gleichgültig, ob die distalen Segmente functionell ausgeschlossen sind, oder ob nur ihre Sensibilität vernichtet ist.

In derselben Weise und mit demselben Erfolg lässt sich der Versuch auch bei Anlegung der Schiene an alle Segmente ausführen.

XV. Versuch. Die Hebebewegung wird mittelst des Handgelenks ausgeführt. Die Hand-Fingerschiene ist:

1. an der Vola der Hand befestigt, während sie von dem zugleich im Metacarpo-Phalangeal-Gelenk stark gestreckten Zeigefinger absteht;

2. an der Vola der Hand und des ganzen Zeigefingers befestigt, während gleichzeitig ein starker Strom denselben von der Mitte der Grund- bis zur Mitte der Nagelphalanx durchsetzt.

In beiden Fällen wird ein an demselben Punkte der Schiene distal von der Fingerspitze aufgehängtes 10-Gramm-Gewicht abgehoben, und in beiden Fällen entsteht eine inconstante Empfindung erschwerter Bewegung. Es ist sehr auffallend, wie zuweilen bei geschlossenem Strom das Abheben gar nicht bemerkt wird, während ohne denselben der Widerstand des Gewichtes beim Anheben sich gleichsam aufdrängt. Unmittelbar nach Oeffnung des Stromes ist der Eindruck übrigens noch etwa derselbe wie bei Stromdauer, erst nach einigen Secunden kehrt mit der Sensibilität auch die normale Sinnesleistung zurück.

Der Umstand, dass die Mitwirkung der distalen Segmente den Sinneseindruck qualitativ verändert, beweist, dass sich dem Empfindungselement der eingliederigen Hebung durch das functionelle Hinzutreten distaler Segmente nicht bloss gleiche, die Empfindung verstärkende Glieder beigesellen, sondern solche von anderer Art. Die Empfindung bei der eingliederigen Hebung, welche bei den letzten Erörterungen als eine unvollkommene erschien, ist nichtsdestoweniger als die grundlegende und elementare zu betrachten, weil sie dem einfachsten Vorgang des Hebens entspricht. Es wird sich nun im Folgenden darum handeln, das andere Empfindungselement, welches der Function der distalen Segmente entspringt, näher zu erforschen. Andeutungen über die Natur desselben konnte man schon aus den eben besprochenen Versuchen entnehmen, denn es war hauptsächlich aufgefallen, dass bei Ausschluss der distalen Segmente der Eindruck eines gewissen Widerstandes, welchen man im Moment des Anhebens eines Gewichtes hat, fehlte. Es ist nothwendig, auf dieses Moment, welches in dem uns von einem zu hebenden Gewicht zugehenden Totaleindruck eine wichtige Rolle spielt, näher hinzuweisen. Wenn man ein an einem Faden befestigtes schweres Gewicht mit den Fingerspitzen in der Weise von seiner Unterlage abhebt, dass man von irgend einem unterhalb der Fadenhöhe gelegenen Punkte ausgehend die Hand langsam nach oben führt, so erhält man in dem Augenblick, wo der Faden seine äusserste Spannung angenommen hat und das Gewicht sich geltend zu machen beginnt (Moment des Anhebens), den Eindruck eines ausserhalb des Körpers gelegenen Widerstandes. Man stösst gleichsam an das Gewicht. In der Folge vergrössert sich die Muskel-

spannung so weit, dass der durch das Zuwachsen der Last vergrösserten Masse der Hand wiederum eine Bewegungsgrösse ertheilt wird (Moment des Abhebens). Vom Anheben bis zum Abheben wächst der Eindruck der Schwere. Aber während, ja ehe er noch zu werden beginnt, ist der Eindruck des Widerstandes schon vorhanden, welcher bereits durch die erste Hemmung der Bewegung entsteht. Hieraus ergiebt sich auch mit Nothwendigkeit, dass das, was man ja auch durch die unmittelbare Beobachtung als different empfindet, thatsächlich seiner Natur nach verschieden sein muss: denn der Eindruck der Schwere kann auf seine wahre Höhe erst gelangen, sobald das Gewicht überwunden wird, der Eindruck des Widerstandes aber ist vorher da, er ist mithin von der Grösse des Gewichtes nur bis zu einer gewissen Grenze abhängig und erlaubt keine Schätzung der Gewichtsgrösse. Es handelt sich um denselben Sinneseindruck, welchen wir haben, wenn wir mit einer Sonde ein Object berühren, und welchen wir kurz als Empfindung des Widerstandes bezeichnen können. Diese ist es auch, welche wir bei den obigen Hebeversuchen den distalen Segmenten verdanken. Sie möge nun im Folgenden näher untersucht werden.

Die Empfindung des Widerstandes.

Wir fühlen den Widerstand, welcher sich in irgend einer Gestalt unseren activen Bewegungen entgegenstellt. Fühlen wir, dass die Bewegung sistirte? dass unsere Haut zusammengedrückt wird? dass ein Missverhältniss zwischen der aufgewendeten Innervation, der erfolgten Muskelspannung und der Bewegung vorhanden ist? Die folgenden Betrachtungen werden versuchen darüber zu entscheiden: was aber zunächst sicher ist, das ist die Eigenartigkeit der Widerstandsempfindung, wie wir sie am besten beim Tasten mit der Sonde ausgeprägt finden. Letztere wird gewissermaassen zu einer lebendigen fühlenden Fortsetzung unserer Finger und an der Spitze der Sonde glauben wir Empfindungen zu haben, welche sich zunächst weder unter die eine noch unter die andere der eben genannten Kategorien subsummiren lassen. Die Qualität der Widerstandsempfindung lässt sich nicht näher schildern, sie möchte am meisten mit einer Druckempfindung Aehnlichkeit haben. Gewöhnlich ist weniger sie selbst Gegenstand unserer Aufmerksamkeit, als vielmehr die Vorstellung, welche durch sie erregt wird; und es hängt dies offenbar damit zusammen, dass die Widerstandsempfindung meist nicht um ihrer selbst willen, sondern in beabsichtigter Verbindung mit systematisch angestellten Bewegungen erzeugt wird. Bei letzterer Vornahme — dem Tasten — dient sie hauptsächlich nur als „Marke", welche gewisse andere Sinneseindrücke und Vorstellungen abgrenzt und dadurch

Vorstellungen über eine ganz andere, mit dem Widerstande gar nicht wesentlich zusammenhängende materielle Eigenschaft zu bilden erlaubt. Indem man also planmässig sich folgende Bewegungen der Finger gegen ein Object hin vornimmt, von denen jede einzelne durch ein Widerstandsgefühl beendigt wird und somit ein Erinnerungsbild ihrer Grösse zurücklässt, vermag man aus der Combination dieser eine Vorstellung von der Gestalt der Oberfläche des Objectes zu gewinnen. Aber auch die Art der Widerstandsempfindung kann unsere Beachtung finden: ihre Intensität, ihre Zu- und Abnahme, wobei dieselbe uns fast zum unmittelbaren Ausdruck der Consistenz des Objectes wird.

Da sich also durch den sich uns entgegenstellenden Widerstand eine positive Empfindung, zwar von farbloser Qualität, aber doch von einer gewissen Eigenart bildet, so müssen wir auch ein erregendes Moment vermuthen und können es nicht für wahrscheinlich halten, dass es sich lediglich um eine durch das Sistiren der Bewegung ausgelöste Veränderung der ablaufenden Vorstellungen handeln sollte. Es hat nun sehr viel für sich, dies erregende Moment einfach in dem physikalischen Stoss zu suchen, welchen die Gliedmaasse erleidet, und zwar besonders im Hinblick darauf, dass ein Widerstandsgefühl auch entsteht, wenn gegen die bewegungslos gehaltene Hand ein durch irgend eine Kraft bewegtes Object trifft, sowie wenn der von fremder Hand geführte Finger auf einen Widerstand gestossen wird. Allein, dass mit dem Stoss das erregende Moment wenigstens noch nicht erschöpft ist, geht daraus hervor, dass Widerstandsempfindung endlich auch dann vorhanden ist, wenn überhaupt keine Bewegung geschieht, sondern die Last des Gliedes nur vom Widerstand getragen wird, wenn sie auch unter solchen Umständen erheblich schwächer ist als bei Stosswirkungen.

Welche sind nun die erregten Theile? Das nächstliegende möchte wohl auch hier sein, an den Drucksinn der Haut zu denken, welcher in erster Linie von jenem noch nicht ganz aufgeklärten erregenden Moment getroffen werden muss und daher vielleicht das Substrat der Widerstandsempfindung bilden könnte. Allein, dass die Hautnerven mit dieser Sinnesleistung nicht das geringste zu thun haben, geht aus Folgendem hervor:

1. Angenommen die Widerstandsempfindung, welche wir an der Spitze der Sonde localisiren, hätte ihren Grund in Verschiebungen und Compressionen der Haut, welche durch den in der Sonde fortgeleiteten Stoss erzeugt würden, so müsste durch Verstärkung des Anfangsdruckes zwischen Finger und Sonde die Empfindung des Druckzuwachses und somit auch die Widerstandsempfindung abgeschwächt erscheinen. Dies ist aber nicht der Fall.

Bei sehr starkem Anfangsdruck mit krampfhafter Spannung vieler Muskeln nimmt allerdings die Deutlichkeit der Widerstandsempfindung etwas ab — was, wie wir sehen werden, andere Gründe hat — aber es wird bei stärkstem Druck immer noch ein sehr geringer Widerstand gefühlt, von welchem es nicht gut vorstellbar ist, dass er der maximalen Hautcompression noch einen merklichen Zuwachs liefern sollte.

2. Ebenso wenig wie die Schwereempfindung durch die Zwischenlagerung der Gummimanschette einbüsst, wird die Widerstandsempfindung durch dieselbe gestört. Wenn man z. B. am Nagelglied des mit der Vola nach oben gerichteten Zeigefingers einen Faden mit einem 10-Gramm-Gewicht anbringt und nun den gesammten Arm in gestrecktem Zustande im Schultergelenk hebt, bis der Faden sich spannt und der Moment des Anhebens beginnt, so hat man eine sehr deutliche Widerstandsempfindung. Dieselbe fällt nun durchaus nicht geringer aus, wenn man dieselbe Vornahme wiederholt, nachdem zwischen Faden und Haut die prall gefüllte Manschette eingeschoben ist, welche doch die Druckempfindlichkeit so ausserordentlich herabsetzt.

3. Der folgende Versuch liefert unter Benutzung der anaesthesirenden Wirkung des faradischen Stromes einen Beweis.

XVI. Versuch. Die Kuppe des Nagelgliedes des Zeigefingers wird mit einem Elektrodenschwamm umgeben, während der andere distal vom II. Interphalangealgelenk applicirt ist. Der durch das Nagelglied geführte starke Strom setzt die Sensibilität der Haut so herab, dass erst ein ziemlich starker Eindruck mit einer stumpfen Scheerenspitze fühlbar wird. Wenn unter diesen Umständen der Zeigefinger mit seiner Spitze gegen die Tischplatte geführt wird, so erscheint trotz der Anaesthesie der Haut die Widerstandsempfindung nur unwesentlich im Verhältniss zur Norm abgeschwächt und sie ist merklich schon bei einer sehr geringen Geschwindigkeit der dem Finger ertheilten Bewegung.

Die Sensibilität der Hautstelle, auf welche das erregende Moment des Widerstandes zunächst seinen Angriff richten müsste, ist also irrelevant. Trotzdem wird die Widerstandsempfindung durch die Anaesthesie des bewegten peripherischen Gliedtheiles in erheblichster Weise benachtheiligt. Schon an einem anderen Orte[1] habe ich mitgetheilt, dass der vom faradischen Strome durchflossene Finger beim Tasten mittelst einer an ihm befestigten Sonde nicht mehr zu unterscheiden vermag, ob die Sondenspitze sich in der Luft bewegt oder auf den Tisch aufstösst, während in der Norm

[1] *Ueber den Muskelsinn* u. s. w. S. 122.

und ohne Strom das Sondengefühl überaus fein ist. Wir werden somit wieder auf die Sensibilität der tieferen Gewebe geführt. Die Bedeutung der Sehnen wird nun schon durch folgendes Verhalten unwahrscheinlich: Man empfängt ein sehr deutliches Widerstandsgefühl, wenn man den völlig gestreckten Finger mit der Fingerspitze oder dem Nagelrand möglichst senkrecht gegen ein Object führt. Man könnte zwar die Möglichkeit, dass auch bei dieser Fingerhaltung die Sehnen in Betracht kommen, nicht ganz ausschliessen, da sich Drehungsmomente auf das eine und andere Segment ergeben werden, sobald die Segmente nicht genau in einer Richtung liegen oder der Winkel des Fingers mit der Fläche des Objects nicht genau ein rechter ist. Aber es ist wenig wahrscheinlich, dass die sehr deutliche Widerstandsempfindung hierauf sich gründen sollte. Vielmehr werden wir die Gelenkenden für diejenigen empfindlichen Gebilde zu halten geneigt sein, welche den Stoss in eine Nervenerregung umwandeln. Die folgenden Versuche nun beweisen, dass in der That den Gelenken diese Bedeutung zukommt.

XVII. Versuch. Die Spitze des linken Zeigefingers wird bis zur Höhe des Metacarpo-Phalangeal-Gelenks herabgekrümmt, so dass das I. Interphalangealgelenk den höchsten Punkt bildet. Während nun die Hand so gehalten wird, dass das Nagelglied des Zeigefingers vertical gerichtet ist, wird dieselbe nach unten geführt, sodass die Spitze des Zeigefingers auf die Tischplatte trifft, die übrigen eingeschlagenen Finger aber am Tischrande vorbeigehen. Es entsteht beim Anstossen natürlich ein deutliches Widerstandsgefühl. Jetzt wird dicht vor und hinter dem I. Interphalangealgelenk je ein Elektrodenschwamm rings um den Finger gelegt und an der Beugefläche, wo sie bei der Krümmung des Fingers sich berühren würden, eine Korkplatte zwischen beide eingeschaltet. Sobald durch die Schwämme ein starker Strom geleitet und nun die beschriebene Bewegung wiederholt wird, so ist die Widerstandsempfindung ausserordentlich abgestumpft: die Tischplatte erscheint jetzt nicht mehr als ein harter und fester Körper, sondern weich, nachgiebig, durchdringbar. Auch bei grösster Beschleunigung der Handbewegung ist ein Gefühl des festen Widerstandes nicht zu erzielen. Nachdem dies festgestellt ist, wird der Finger, ohne an der Lage der Schwämme und an der Stromstärke irgend etwas zu ändern, in die gestreckte Haltung übergeführt und die Bewegung in entsprechender Weise, so dass also der nach unten gestreckte Finger senkrecht auf die Tischplatte trifft, wiederholt: jetzt ist schon bei geringer Geschwindigkeit der Bewegung das Gefühl eines harten Widerstandes vorhanden, wenn auch nicht ganz so deutlich wie unter normalen Verhältnissen.

Dieser Versuch ist nahezu eindeutig: bei der ersten Anordnung pflanzte

sich der Stoss auf das II. und I. Interphalangealgelenk fort, von denen das letztere in der grössten Dichtigkeit des Stromes lag, das erstere unter dem Einflusse der Stromwirkung auf die Nervenstämme stand; bei der zweiten Anordnung dagegen traf der Stoss ausser den beiden hypaesthetischen Gelenken auch das normal empfindliche Metacarpo-Phalangealgelenk. Immerhin könnte man einwenden, dass sich die Erscheinung auch erklären liesse, wenn die gesammte tiefe Sensibilität das Widerstandsgefühl hervorbrächte. Eine schärfere Beziehung gerade zu den Gelenken erwächst nun aus folgender Anordnung.

XVIII Versuch. Der linke Zeigefinger wird so gekrümmt, dass bei bequemer Haltung der Hand das Nagelglied vertical, die Grundphalanx wagerecht gerichtet ist. In dieser Haltung wird die Hand nach unten geführt, so dass die Zeigefingerspitze senkrecht auf die Tischplatte trifft, wobei ein deutliches Widerstandsgefühl erfolgt. Hierauf werden die beiden Schwämme in dreifach verschiedenartiger Anordnung applicirt:

1. so, dass der Strom das Nagelglied vom II. Interphalangealgelenk an bis zur Spitze durchsetzt;

2. so, dass der eine Schwamm proximal vom I. Interphalangealgelenk, der andere nahe an der Spitze des Nagelgliedes liegt;

3. so, dass der eine Schwamm dicht vor und der andere dicht hinter dem I. Interphalangealgelenk gelegen ist.

Bei diesen verschiedenen Anordnungen wird je dieselbe Abwärtsbewegung ausgeführt und es zeigt sich dabei, dass die Widerstandsempfindung bei der dritten Schwammlage, bei welcher das I. Interphalangealgelenk in der grössten Stromdichte sich befindet, sehr bedeutend abgeschwächt ist (so wie im vorigen Versuch), in geringerem Grade dagegen bei der zweiten Anordnung, bei welcher die Entfernung der Elektroden von einander grösser ist und nahezu den ganzen gekrümmten Halbfinger umfasst, während bei der ersten, lediglich die Nagelphalanx betreffenden Durchströmung die Widerstandsempfindung überhaupt nur wenig herabgesetzt ist. Also dort, wo die Stromwirkung sich am meisten auf das Gelenk concentrirt, ist auch die Abstumpfung des Widerstandsgefühls am bedeutendsten. Liegt auch bei dieser Anordnung das II. Interphalangealgelenk extrapolar, so müssen doch die zu ihm hin verlaufenden Nervenstämme die intrapolare Strecke durchziehen. Bei der zweiten Anordnung werden die beiden Gelenke sicherlich von einer geringeren Stromdichte durchsetzt und bei der ersten dürfte das I. Interphalangealgelenk von Stromschleifen wenig betroffen sein.

XIX. Versuch. Der Zeigefinger wird wieder gekrümmt gehalten und entweder wie im vorigen Versuch mit der Spitze von oben her senkrecht gegen die obere Fläche der Tischplatte oder mit dem Fingernagel von vorn her gegen die verticale Fläche derselben geführt, wobei der Finger unter starker Spannung der Muskeln seine Haltung beibehält. In ersterem Falle ist die Widerstandsempfindung constant intensiver als in letzterem. Nun wird der Strom so durch den Finger geleitet, dass er proximal vom I. Interphalangealgelenk eintritt und distal vom II. Interphalangealgelenk austritt. Wenn jene Bewegungen jetzt bei geschlossenem Strom wiederholt werden, so erweist sich die Widerstandsempfindung bedeutend abgeschwächt, aber auch jetzt noch ist sie bei der Bewegung gegen die horizontale Fläche des Tisches deutlicher als bei derjenigen gegen die verticale Fläche. Unter normalen Verhältnissen also eben sowohl als bei Faradisation ergiebt die erste Bewegungsart eine stärkere Empfindung. Es ist aber offenbar, dass bei derselben die Stosswirkung auf die Gelenkflächen eine viel grössere sein muss, als bei der zweiten Art der Bewegung, welche vorwiegend eine drehende Wirkung auf die Gelenke entfaltet. Letzterer wirken Muskeln mit Sehnen entgegen, an welchen durch den Anstoss ein Zug ausgeübt wird. Wir dürfen hieraus zum mindesten schliessen, dass die Gelenke mehr Beziehung zur Widerstandsempfindung haben als die Sehnen.

Sind nun bloss distale Gelenke Träger der Widerstandsempfindung — wie es nach den bis jetzt angestellten Versuchen scheinen könnte — oder auch dasjenige Gelenk, in welchem die Bewegung des Gliedtheiles stattfindet?

XX. Versuch. An der Vola des Nagelgliedes vom linken Zeigefinger wird eine schmale Pappschiene befestigt, welche jedoch hier lediglich als Sonde dienen soll. Unmittelbar vor und hinter dem I. Interphalangealgelenk werden Schwammelektroden um den Finger befestigt. Die Hand ruht auf der schon früher verwendeten Gypsform, auf welcher auch die Grundphalanx vom Zeigefinger Platz findet. Die Widerstandsempfindung wird dadurch erzeugt, dass mittels Beugebewegung im I. Interphalangealgelenk das Ende der Schiene gegen die horizontale Fläche der Tischplatte gestossen wird. Sobald der Strom geschlossen ist, zeigt sich bei genügender Stärke desselben das Widerstandsgefühl derartig abgestumpft, dass bei nicht sehr schneller Bewegung überhaupt kein Widerstand gefühlt, die Bewegung vielmehr trotz des Hindernisses fortgesetzt und die Schiene krumm gebogen wird. Hieraus geht noch nicht hervor, dass das I. Interphalangealgelenk selbst bei dem Widerstandsgefühl mitwirkt, da die Störung auch durch die begleitende Hypaesthesie des II. Interphalangealgelenkes erklärt werden könnte. Allein wenn nun die Schiene höher geschoben und ausser am

Nagelgliede auch an der mittleren Phalanx befestigt wird, so ist bei derselben Stromstärke die Abschwächung der Widerstandsempfindung noch erheblicher als vorher.

Jetzt werden die Schwämme dicht vor und hinter dem II. Interphalangealgelenke placirt und die Schiene am Nagelgliede befestigt. Sobald der Strom geschlossen ist, so ist, falls die Bewegung im II. Interphalangealgelenk stattfindet (bei Fixirung der ersten beiden Phalangen auf dem Gyps), das Widerstandsgefühl fast aufgehoben; nur schnelle Stösse fördern noch ein solches zu Tage; falls dagegen die Bewegung im I. Interphalangealgelenk ausgeführt wird, so ist dasselbe zwar immerhin im Vergleich zum normalen abgeschwächt, aber doch ungleich intensiver als vorher, so dass es selbst bei langsamen vorsichtigen Bewegungen zu Stande kommt. Dies lässt sich nur dadurch erklären, dass hier das bewegende Gelenk von der Sensibilitätsstörung frei blieb.

XXI. Versuch. Auch folgende Form kann dem Versuch gegeben werden: die Hand und vom Zeigefinger die Grundphalanx ruhen auf der Gypsform. Auf das Nagelglied ist eine durchbohrte starke Gummischeibe gesteckt, mittelst welcher bei Streckbewegungen im I. Interphalangealgelenk eine oberhalb des Fingers befindliche horizontale Stange eines Stativs getroffen wird, wobei ein deutliches Widerstandsgefühl auftritt. Jetzt werden die Elektrodenschwämme entweder so applicirt, dass sich beide distal vom I. Interphalangealgelenk befinden, oder so, dass sie dieses Gelenk gerade umfassen. Die Widerstandsempfindung ist nun bei der zweiten Anordnung, bei welcher also das bewegende Gelenk im Bereiche der grössten Stromdichtigkeit liegt, erheblich mehr abgestumpft als bei der ersten, welche nur eine mässige Abnahme derselben zur Folge hatte. Die Vorstellung eines ausserhalb gelegenen Objectes, welches die Widerstandsempfindung hervorrufe, findet überhaupt nicht mehr statt; vielmehr kommt es nur zu einer nicht näher zu localisirenden Empfindung im Finger, welche die Vorstellung eines eingetretenen Hindernisses irgend welcher Art, ohne bestimmte räumliche Beziehungen, erweckt. Diese Sensation aber tritt auch bei stärksten Strömen und einer derartigen Hautanaesthesie, dass durch äussere Reize kaum irgend ein Gefühlseindruck zu erzielen ist, constant noch auf.

Noch erheblicher ist die Herabsetzung der Widerstandsempfindung, wenn bei derselben Versuchsanordnung über das II. Interphalangealgelenk eine starke Gummihülse gezogen ist. Auch hierbei ist trotz kräftiger Durchströmung des II. Interphalangealgelenkes noch mässig deutliche Widerstandsempfindung vorhanden, während die höhere Anordnung der Elektroden zu beiden Seiten des bewegenden I. Interphalangealgelenkes, eine derartige

Abstumpfung derselben setzt, dass bei nicht allzu schneller Bewegung öfter das Stativ abgehoben wird, ohne dass ein Gefühl eintritt, und dass eine Sensation wie die im letzten Versuch beschriebene nur bei sehr beschleunigten Bewegungen zu erzielen ist.

Hieraus geht zwingend hervor, dass auch dasjenige Gelenk, in welchem die Bewegung stattfindet, Substrat der Widerstandsempfindung bilden kann, wie sich dies auch bei einfacher Vornahme eingliederiger Bewegungen jeder Zeit erweisen lässt.

Die Bedeutung der Gelenke überhaupt für das Zustandekommen der Widerstandsempfindung kann durch eine casuistische Mittheilung Hitzig's[1] belegt werden. Ein Tabiker „empfindet das leiseste mit einer Fingerspitze gegen die Längsaxe des Gliedes gerichtete Klopfen unter dem Hacken mit der grössten Sicherheit und Regelmässigkeit, während die Haut des Hackens in dem Maasse anaesthetisch ist, dass der Kranke daselbst weder das Quetschen einer Hautfalte noch tiefe Nadelstiche überhaupt wahrnimmt. Jene Empfindung kann daher nur in den Gelenken der Fusswurzel oder im Fussgelenk entstehen." Eine analoge Beobachtung habe ich bei meinen Versuchen gemacht: an der Nagel- und mittleren Phalanx des linken Zeigefingers war die Pappschiene befestigt, während durch das I. Interphalangealgelenk, in welchem auch die Bewegung stattfand, der Strom geleitet wurde. Die Anaesthesie des Halbfingers war unter dem Einflusse des Stromes so stark, dass ich ihn gar nicht mehr als vorhanden fühlte. Beim Aufschlagen des Schienenendes auf die Tischplatte empfand ich nun Widerstand, sobald die Bewegung mit ziemlich erheblicher Geschwindigkeit ausgeführt wurde. Allein die Empfindung wurde nicht wie unter normalen Verhältnissen an das Ende der Schiene verlegt, sondern ich fühlte eine Art von Erschütterung in der Gegend des I. Interphalangealgelenkes selbst. Die Deutung dieser Erscheinung liegt nahe: dass nämlich die eigentliche durch den Widerstand hervorgerufene Sensation im Gelenke zu Stande kommt und dass in Folge der hier bestehenden Anaesthesie die Bedingungen fehlen, auf Grund deren dies Gelenkgefühl in dem Ende der Schiene localisirt wird. Dieselben bestehen wahrscheinlich zum grossen Theil in der Lagewahrnehmung des die Schiene tragenden Gliedtheiles, denn es ist nicht erfindlich, wie wir die Empfindung auf die Schiene projiciren sollten, wenn wir nicht das Bewusstsein von der räumlichen Lage derselben, d. h. von der Lage des sie haltenden Gliedes haben. Die Lagewahrnehmung nämlich wird ebenfalls durch den faradischen Strom vernichtet (s. später).

---

[1] Ein Kinesieaesthesiometer nebst einigen Bemerkungen über den Muskelsinn. *Neurologisches Centralblatt.* 1888. Nr. 9 u. 10. S. 291.

Eine Bestätigung der vorgetragenen Anschauung über das Substrat der Widerstandsempfindung wird durch eine sehr merkwürdige Erscheinung geliefert, welche ich als „paradoxe Widerstandsempfindung" bezeichnen möchte. Wenn man ein an einem Faden hängendes Gewicht in der Schwebe hält und senkt, hat man die Empfindung der Schwere; sobald man es aber während der Abwärtsbewegung auf einen festen Körper aufsetzen lässt, hat man eine sehr deutliche Widerstandsempfindung. Um beim Aufsetzen ein störendes Geräusch zu vermeiden, verwendet man als Unterlage zweckmässig ein Kissen oder dergleichen. Um die Widerstandsempfindung möglichst deutlich zu haben, darf das Gewicht nicht zu klein sein und der Faden nicht zu fest zwischen den Fingern gepresst werden. Es genügt auch, den Faden an einen Finger anzuschlingen und dann am besten an die mittlere oder Nagelphalanx. Bei genügender Grösse des Gewichts und Geschwindigkeit der Bewegung entsteht mit täuschender Aehnlichkeit der Eindruck, als ob man mit einem festen Stabe gegen die Unterlage stosse. Noch deutlicher ist derselbe, wenn man das Gewicht an dem Ende eines Stäbchens aufhängt, dessen anderes Ende man fasst, und so das ganze abwärts bewegt. Das Gewicht wirkt dadurch an einem Hebelarm. Wie bei der Sonde auf die Spitze derselben, so wird hier die Widerstandsempfindung auf das Gewicht projicirt. Eine analoge Empfindung tritt auf, wenn man an dem Eingangs beschriebenen Rollensystem den aequilibrirten Finger nach oben bewegt und hierbei das Gewicht plötzlich auf das Tischchen zum Aufsetzen gelangt.

Diese Erscheinung ist deshalb so bemerkenswerth, weil keine starre Verbindung zwischen Finger und Gewicht vorhanden ist, demnach also der Stoss des Gewichtes nicht auf denselben fortgeleitet werden kann; sie ist aber geradezu paradox, weil das Glied gar keinen sichtbaren Widerstand erfährt, vielmehr in dem Augenblick des Aufsetzens entlastet wird. An eine Fortpflanzung des Stosses durch den Faden ist natürlich nicht zu denken, was man noch durch folgenden kleinen Versuch erhärten kann: An den beiden Enden eines Stäbchens hängen zwei gleiche Gewichte, welche jedoch durch zwei Fäden von verschiedener Länge befestigt sind. Das Stäbchen selbst wird mittelst eines um seine Mitte geschlungenen Fadens gehalten, sodass es horizontal gerichtet ist, und in dieser Weise abwärts bewegt. Nach einer gewissen Zeit kommt das am längeren Faden hängende Gewicht zum Aufsetzen, weiterhin auch das andere. Während des Senkens hat man eine constante Schwereempfindung, welche sich beim Aufsetzen des ersten Gewichtes nicht verändert und erst beim Aufsetzen des zweiten einer Widerstandsempfindung Platz macht. Jener Vorgang macht sich also in der Empfindung überhaupt nicht geltend. Hierdurch ist bewiesen, dass eine etwaige Fortpflanzung von Schwingungen durch den

Faden für die Widerstandsempfindung nicht in Betracht kommt. Dass die Schwereempfindung sich nicht verändert, ist sehr natürlich, denn in dem Moment, wo das erste Gewicht aufsetzt, wird zwar die Last auf die Hälfte reducirt, diese Hälfte aber wirkt an einem doppelt so langen Hebelarm.

Die paradoxe Widerstandsempfindung lehrt, dass es eines von aussen her auf die Haut wirkenden Druckes oder Stosses nicht bedarf und muss jeden Zweifel zerstreuen, welcher in dieser Beziehung nach den oben mitgetheilten Versuchen noch obwalten könnte. Im Uebrigen aber ist der die Widerstandsempfindung erzeugende Vorgang bei ihr ganz analog demjenigen bei einem äusseren Widerstand. Wird das bewegte Glied durch ein äusseres Object gehemmt, so erfährt es ebenso einen Stoss, als wenn das ruhende von einem bewegten äusseren Object getroffen würde. Die in den Fingern gehaltene Sonde erfährt beim Antreffen an einen festen Körper eine Bewegungshemmung und damit einen Stoss, welcher sich den Fingern mittheilt. Ist der Finger nun durch das am Faden hängende Gewicht belastet, so kann die, nehmen wir an, horizontale Haltung des Fingers nur durch eine gesteigerte Kraftleistung des hebenden Muskels bewahrt bleiben. In dem Moment, wo der Finger bei der Abwärtsbewegung entlastet wird, erwächst dem senkenden Muskel durch den contrahirten und gleichzeitig bis dahin durch das Gewicht gedehnten hebenden Muskel ein Widerstand. Die bis zu diesem Moment ausgespielte Kraftleistung des senkenden Muskels wird deshalb nicht im Stande sein, die Abwärtsbewegung weiter fortzuführen: der Finger bleibt im Augenblick der Entlastung stehen, ebenso wie er stehen bleibt, wenn ein äusseres Hinderniss vorhanden ist, dessen Hinwegräumung eine grössere Kraft erfordert, als die bewegende Kraft des Fingers repraesentirt. Die Bewegung des Fingers wird somit durch einen inneren, vom eigenen Muskel ausgehenden Widerstand plötzlich vernichtet, was man sich unter der Form einer derselben entgegengesetzt gerichteten Bewegung, d. h. eines Stosses, vorstellen kann, nur dass derselbe eben auch innerlich, ohne Vermittelung der Haut und ohne Compression wirkend zu denken ist. Wird der belastete Finger in Ruhe gehalten, so wird bei plötzlicher Entlastung gleichfalls die Federkraft des gespannten hebenden Muskels frei und wirkt in ähnlicher Weise auf das Glied wie ein von unten her gegen dasselbe erfolgender Stoss. In der That entsteht auch hierbei eine Widerstandsempfindung. Das eben ausgeführte Schema ist das der eingliederigen Bewegung. Bei der mehrgliederigen, gewöhnlichen Bewegung ist nach unserem Schema ein Segment als flectirtes proximales, die anderen als gehaltene distale vorzustellen. Beim Aufsetzen des die distalen Segmente belastenden Gewichtes kann das proximale seine Bewegung fortsetzen, aber diejenigen potentiellen Muskelkräfte, welche die distalen Seg-

mente gegenüber der Belastung aequilibrirt hatten, vernichten jetzt jede weitere Abwärtsbewegung der distalen Segmente, bewirken also wiederum dasselbe, was bei der in den Fingern gehaltenen Sonde das feste Object thut. So entsteht also ein wirklicher Widerstand für die Bewegung, als dessen Ursache wir auf Grund unserer sonstigen Erfahrungen sofort das Object ansehen, welches uns das Gewicht abnimmt und uns somit in Wirklichkeit entlastet, während die wahre Ursache, für welche die Controle anderer Sinne fehlt, uns entgeht. Es erhellt hieraus das, was für die Entstehung der Widerstandsempfindung wesentlich ist, nämlich das dem äusseren und dem inneren Widerstande gemeinsame: die Stosswirkung, welche entweder eine wirkliche Bewegung des Gliedes aufhebt oder dem ruhenden ein Bewegungsmoment ertheilt. Unwesentlich dagegen ist es, ob die Stosswirkung von aussen her das Glied ergreift oder innen entsteht. Auch das Substrat der Empfindung wird daher innen zu suchen sein und so werden wir wieder auf die Gelenke geführt.

Es handelt sich nun weiterhin um die Frage, was in den Gelenken bei der Erzeugung der Widerstandsempfindung vorgehe. Bei dem schon früher berührten einfachsten Fall, wo der Stoss in der Richtung der Längsaxe des Gliedes wirkt, z. B. wenn man mit dem Nagelrand des gestreckt gehaltenen Fingers gegen das Object stösst, kommt es wohl zweifellos zu einem vermehrten Druck der Gelenkenden gegen einander. Man wird nun bei jeder beliebigen Richtung des Stosses eine Theilwirkung desselben construiren können, welche die Gelenkflächen total oder partiell in engere Berührung mit einander bringt. Am ungünstigsten ist gerade der bei der Besprechung der paradoxen Widerstandsempfindung angenommene Fall, dass nämlich der Stoss senkrecht zur Längsaxe des Gliedes einwirkt, indem der Finger beim Aufsetzen des Gewichtes die horizontale Lage einnehmen sollte. Es handle sich zunächst um eine eingliederige Bewegung; der Stoss wirkt auf das distale Ende des Segmentes und sucht dasselbe in der Richtung der Querebene zu verschieben. Wegen der Cohaesion der Molecüle reisst die gestossene Partie die zunächst proximal gelegenen Theilchen mit, diese wieder die nächsten u. s. w. und so werden die Theilchen der Gelenkfläche selbst gleichfalls eine entsprechende Bewegungsrichtung erhalten, welche zu einer partiellen Aneinanderpressung der Flächen führen wird. Erheblicher wird dieselbe bei mehrgliederiger Bewegung ausfallen müssen. Wenn eine Reihe von distalen Segmenten, welche gegenseitig durch einen gewissen Grad von Muskelspannung festgestellt sind, in einem proximalen Gelenk bewegt und nun durch ein Hinderniss plötzlich diese Bewegung vernichtet wird, so liegt ein Verhältniss vor, als ob das Hinderniss gegen jenen Gliedabschnitt eine entgegengesetzt gerichtete Bewegung ausgeführt hätte. Die Stosswirkung wird sich zunächst auf das

äusserste der distalen Segmente erstrecken, welches nach unserer Annahme auf das Hinderniss auftrifft. Die Theilchen jeder Querebene werden immer die der nächsten proximalen mitreissen, und da die Segmente als Ganzes bewegt wurden, wird dieser Vorgang sich auch auf die Gelenke fortpflanzen und somit werden die Theilchen der einen Gelenkfläche die der anderen anliegenden Gelenkfläche mitnehmen. Die Pressung der Gelenkflächen an einander wird dabei um so stärker sein, je grösser die Masse des proximal von dem betreffenden Gelenk gelegenen Abschnittes des bewegten Gliedes ist. Ueberzeugender stellt sich dieser Vorgang dar, wenn man sich das Gegentheil, Gelenke ohne jede Spur von Reibung bei ihrer Bewegung, vorstellt. Hätten wir eine Reihe von Segmenten, welche durch solche Gelenke mit einander verbunden wären und welche, wie vorher ausgeführt, durch Muskelzug gegen einander in einer gewissen Lage festgestellt, gegen einen auf das äusserste der Segmente wirkenden Widerstand bewegt würden, so würde dieses Segment in eine der Bewegung entgegengesetzte Drehung versetzt werden, während die übrigen Segmente ihren Weg zunächst fortsetzen würden. Daraus ergiebt sich, dass es die Reibung der Gelenkflächen an einander ist, welche eine Fortleitung des Stosses auf die proximalen Segmente ermöglicht. In den meisten Fällen nun greift der Widerstand gar nicht rechtwinkelig zur Längsaxe an, sondern mehr weniger schiefwinkelig, wodurch die Fortleitung des Stosses auf die Gelenkflächen und die Wirkung desselben auf Erhöhung des gegenseitigen Druckes der letzteren befördert wird.

Wenn wir annehmen, dass die Gelenkenden mit sensiblen Nerven versehen sind, woran doch wohl kaum zu zweifeln sein wird, so wird das Aneinanderpressen derselben im Stande sein, eine Empfindung zu erzeugen. Die Gelenkenden würden sich hiernach als empfindliche Querschnitte der Glieder darstellen, welche geeignet sind, die längs der letzteren ablaufenden molecularen Vorgänge in eine Empfindung umzusetzen. Man könnte vielleicht meinen, dass ich, indem ich die Widerstandsempfindung auf eine Erregung von Gelenknerven zurückführe, mich in Gegensatz bringe zur Lehre von der specifischen Energie jedes Nerven, da ich auch die Bewegungsempfindung eben diesen Nerven zugeschrieben hatte. Aber es war gerade in der Abhandlung über die Bewegungsempfindung hervorgehoben worden, dass es eine untermerkliche Bewegungsempfindung gebe, welche sich bloss als eine in der Gegend des Gelenkes localisirte Sensation darstelle, ohne noch die deutliche Vorstellung der Bewegung entstehen zu lassen; dass ferner bei einer sehr rapiden und dabei kurzen Bewegung der Charakter der Bewegungsempfindung ebenfalls verloren gehe und nur das Gefühl der Erschütterung auftrete. Dies spricht schon dafür, dass der Nervenapparat des Gelenkes zunächst nur eine Sensation besonderer Art

entstehen lasse, welche dann unter gewissen Bedingungen zum sensitiven Merkmal einer vor sich gehenden Bewegung würde. Dies schliesst aber nicht aus, dass nicht eben derselbe Nervenapparat bei einer entsprechenden andersartigen Erregung eine genügend unterschiedene Empfindung geben sollte, welche zum sensitiven Merkmal einer ganz anderen Vorstellung, derjenigen eines Widerstandes, werden könnte. Die bei der Verstärkung des Gelenkdruckes entstehende Widerstandsempfindung dürfte sich zu der bei der Verschiebung der Gelenkflächen entstehenden Bewegungsempfindung etwa so verhalten, wie die durch das Andrücken eines Stäbchens an die Haut erzeugte Druckempfindung zu der bei Bewegung desselben an der Haut hin auftretenden Bewegungsempfindung, welche letztere ja v. Vierordt als eine einfache Empfindung ausspricht.

Zusammenfassende Erörterungen beider Empfindungen.

Kehren wir nun nach diesen Feststellungen zur Empfindung der Schwere zurück, so haben wir indessen als Ursache jenes qualitativen Unterschiedes der Empfindung bei eingliederiger und mehrgliederiger Hebung die Widerstandsempfindung ermittelt, welche in den Gelenken der distalen Segmente entsteht und der Empfindung der erschwerten Bewegung sich beimischt. Der Totaleindruck bei der Hebung eines Gewichtes ist also in der That kein einfacher, sondern erscheint schon jetzt als aus zwei von der Peripherie zugeleiteten differenten sensitiven Merkmalen zusammengesetzt. Es scheint nun ein Widerspruch insofern vorzuliegen, als wir oben bei eingliederiger Hebung die Widerstandsempfindung vermissten, später aber nachwiesen, dass auch bei eingliederiger Bewegung eine solche zu Stande kommen könne. Dieser Widerspruch erklärt sich nun vollkommen durch die Verschiedenheit der Versuchsumstände. Bei der Hebung nämlich wurde die Bewegung, d. h. die Verschiebung der Gelenkenden von einander fortgesetzt, bei den Widerstandsversuchen wurde sie durch den Anprall vernichtet. Diese Vernichtung der Bewegung hatten wir unter der Form eines Gegenstosses vorgestellt, welcher die Gelenkflächen aneinander presst. Wird aber die Bewegung fortgesetzt, so kann zwar in dem Moment des Anstossens an das Gewicht gleichfalls eine fortgeleitete Stosswirkung auf das Gelenk sich geltend machen, dieselbe muss aber sehr vorübergehend sein, da die sogleich weiter sich vollziehende Verschiebung der Gelenkflächen nothwendig die Pressung aufhebt. Deshalb wird bei eingliederiger Hebung die Bewegungsempfindung vorherrschen. Allein es gelingt bei zweckmässiger Ausführung der eingliederigen Hebung in der That, ebenfalls ein Widerstandsgefühl zu erzeugen: wenn man nämlich vor dem Moment des Anhebens

die Bewegung möglichst beschleunigt, zugleich aber doch nur mit so viel Kraft ausführt, dass sie durch den Widerstand des Gewichtes völlig oder nahezu vernichtet wird. Bei den früher mitgetheilten Versuchen, bei welchen nur eine Empfindung der erschwerten Bewegung zu Stande kam, konnte mittels dieses Verfahrens regelmässig doch eine, wenn auch undeutliche, Widerstandsempfindung erzeugt werden — was nur bei der dort gegebenen Beschreibung nicht erwähnt wurde, um die Vorstellungen nicht zu verwirren, da die Widerstandsempfindung noch nicht besprochen war. Dieses Verfahren aber ist ziemlich analog demjenigen bei den eingliederigen Widerstandsversuchen. Sind nun distale gehaltene Segmente vorhanden, so muss in den Gelenken dieser eine viel stärkere Widerstandsempfindung entstehen, weil die Pressung der Gelenkflächen gegen einander durch keine Bewegung aufgehoben wird.

Das Hinzutreten der Widerstandsempfindung wird den Totaleindruck verstärken und auch die Schwelle desselben niedriger gestalten, da gerade die Empfindlichkeit gegen Widerstände sehr fein zu sein scheint, besonders an den Fingern. Allein für die Schätzung der Grösse des Gewichtes wird sie kaum in Betracht kommen, denn obwohl nicht ganz unabhängig von der Grösse des Gewichtes insofern, als das Maass, in welchem die Bewegung durch den Widerstand des Gewichtes abgeschwächt wird, für sie von wesentlicher Bedeutung ist, so hat sie doch immerhin mit der Ueberwindung des Gewichtes, durch welche die Grösse desselben erst erkannt werden kann, nichts zu thun.

Die Bedeutung der distalen Segmente ist mit der Lieferung der Widerstandsempfindung nicht erschöpft, da ausserdem an jedem der Segmente eine Schwere-Empfindung entstehen muss, entsprechend der potentiellen Energie, welche sich in der Haltung desselben trotz des fortwährend wirkenden abwärts gerichteten Bewegungsmoments äussert. Dadurch wird der Gesammteindruck der Schwere vergrössert, der Schwellenwerth verkleinert werden. Die bei einer mehrgliederigen Hebung von der Peripherie zugeleiteten Eindrücke sind also: Schwere-Empfindung von Seiten des bewegten proximalen Segments mit Bewegungsempfindung, Schwere-Empfindung von Seiten der distalen Segmente, Widerstandsempfindung.

Die beim Gewichtheben auftretende Widerstandsempfindung hat nun eine wesentliche Bedeutung für die Objectivirung des Gesammteindruckes. Diese Empfindung kann nämlich nicht zu Stande kommen, wenn die Bewegung activ sistirt, sondern im Allgemeinen nur, wenn sie durch eine äussere Veranlassung vernichtet wird. Wir pflegen deshalb, sobald wir uns einer Widerstandsempfindung bewusst werden, die Vorstellung eines ausserhalb des empfindenden Gliedabschnittes befindlichen Hindernisses zu erhalten. Die Empfindung der Schwere dagegen braucht nicht sofort und

durchaus auf eine äussere Ursache bezogen zu werden. Sie kann ebensowohl durch eine innere Ursache, nämlich durch vermehrten Widerstand der Antagonisten, producirt werden. Es kann ferner eine Schwere-Empfindung von gleicher Grösse durch die verschiedenartigsten äusseren Umstände hervorgebracht werden; durch ein grösseres Gewicht an kleinerem Hebelarm, durch ein kleineres an grösserem Hebelarm; überhaupt nicht durch ein gehobenes Object, sondern durch ein consistenteres Medium, in welches das Segment eindringt; durch ein compressibles Object, welches eingedrückt wird; durch ein elastisches, welches aus seiner Gleichgewichtslage gebracht wird; durch ein gehobenes Object, welches am Gliede hängt, oder welches auf dasselbe drückt; durch ein Object, welches geschoben oder welches gezogen wird u. s. w. Ueber diese verschiedenen äusseren Ursachen, sowie darüber, ob überhaupt eine äussere Ursache vorhanden ist, kann daher die Schwere-Empfindung an sich keine Auskunft geben und es wird anderweitiger begleitender Sinneseindrücke bedürfen, damit die Vorstellung von einer bestimmten äusseren Ursache der Schwere-Empfindung entstehen kann.

Zunächst kommt in dieser Beziehung die Druckempfindung der Haut in Betracht. Wenn Hautsensationen auch durchaus nicht allein an äussere Einwirkungen geknüpft sind, da durch den Puls, durch aussergewöhnliche Vorgänge im Inneren der Haut, endlich durch Bewegungen der Glieder solche wachgerufen werden, so wird doch eine Druckempfindung von gewisser Stärke und für innere Ursachen ungewöhnlicher Vertheilung stets auf eine bestehende äussere Einwirkung hinweisen und gleichzeitig eine Localisation derselben gestatten. Dennoch gewährt die Hautempfindlichkeit kein ausreichendes Mittel der Controle. Denn die durch das Gewicht hervorgerufene Druckempfindung der Haut ist von der Art und dem Ort der Befestigung desselben in hohem Grade abhängig. Sie wird je nach der schon vorher bestandenen Stärke des Druckes (durch die Befestigung selbst), je nach der Breite der Fläche, auf welche sich die Druckwirkung vertheilt, je nach der örtlichen Druckempfindlichkeit variiren. Es könnte ein Gewicht z. B. an einem die Haut schon an und für sich so stark comprimirenden Apparat angebracht sein, dass der Druckzuwachs überhaupt nicht gefühlt wird: dann wäre das Mittel zur Objectivirung ausgeschaltet. In der That ist die Empfindung der Haut zur Objectivirung der Schwereempfindung nicht durchaus erforderlich. Die Anaesthesie des Angriffspunktes, die Einfügung der Gummimanschette verändert zwar den Gesammteindruck etwas, verhindert aber nicht, dass die Vorstellung eines äusseren schweren Objectes entsteht. Wir besitzen nämlich — vom Gesichtssinn sehe ich natürlich ab — noch ein weiteres, und wie ich meine sichereres Mittel der Controle: die Widerstandsempfindung. Freilich kann auch diese aus inneren Ursachen entstehen, wie wir an der paradoxen Widerstandsempfin-

dung sahen; und wenn sie wirklich auf einer Verstärkung des gegenseitigen Druckes der Gelenkenden beruht, so wird überhaupt durch Muskelcontractionen der Anlass zu einer solchen gegeben werden können. Allein gerade die Täuschung bei der paradoxen Widerstandsempfindung weist darauf hin, dass wir gewohnt sind, diesen Sinneseindruck auf eine ausser uns gelegene Ursache zu beziehen. Freilich bedarf es auch hierzu der Verknüpfung mit anderen Eindrücken und Vorstellungen, namentlich mit denen von der Bewegung und Lage des Gliedes, wie schon aus der Localisation der Widerstandsempfindung im Gelenk bei aufgehobener Sensibilität des distalen Abschnittes (s. S. 171) folgt und was später noch näher zu erörtern sein wird. Sehen wir die Bedingungen, unter welchen die Widerstandsempfindung selbst objectivirt wird, als gegeben an, so wird dieselbe ganz besonders geeignet sein, an die gleichzeitige oder unmittelbar folgende Schwereempfindung die Vorstellung eines dieselbe bedingenden ausserhalb befindlichen Objectes anknüpfen zu lassen.

Die distalen Segmente vermehren somit nicht bloss den Gesammteindruck der Schwere, sondern dienen wesentlich dazu, denselben nach aussen zu projiciren. Die Widerstandsempfindung lässt die Vorstellung eines äusseren Hindernisses entstehen, die Druckempfindung hilft den Angriffsort desselben localisiren, die nun folgende Schwereempfindung wird der schon gewonnenen Vorstellung eingefügt und die sich weiter anschliessende Bewegungsempfindung dient als Marke für das Maass der mit der Ueberwindung des Objects verknüpften Schwereempfindung, welches als Erinnerungsbild und Grundlage für die Schätzung des Gewichts in uns zurückbleibt. Sind die distalen Segmente ausgeschlossen, so fehlen, besonders wenn nun ausserdem noch ungünstige Verhältnisse für die Wahrnehmung des Druckzuwachses bestehen, die nothwendigsten Bedingungen für die Objectivirung der Schwereempfindung, und es resultirt ein nur auf das Glied selbst bezogener, oben als „Empfindung der erschwerten Bewegung“ bezeichneter Sinneseindruck, welcher sich offenbar aus den sensitiven Merkmalen der Schwere- und der Bewegungsempfindung zusammensetzt. Schlagend geht diese Bedeutung der distalen Segmente aus jenem Versuch (XII. S. 161) hervor, bei welchem die belastete abstehende Schiene mittelst der an einem distalen Segment befestigten Gummimanschette belastet wird, wodurch sofort die vorher bestandene, nur als Zuständlichkeit des eigenen Gliedes aufgefasste Empfindung der Schwere zur Vorstellung eines ausserhalb wirkenden schweren Objectes vervollkommnet wird. Man kann in der That, wenn man die eigenen Maassnahmen beim mehrgliederigen Gewichtheben aufmerksam beobachtet, leicht wahrnehmen, dass man die distalen Segmente palpatorisch verwendet, mit ihnen den Widerstand des Gewichtes tastend ermittelt, während das proximale Segment Arbeit

leistet. Sind die erstgenannten functionell ausgeschaltet, so fehlt in dem Aggregat von Sinneseindrücken ein Glied, nämlich das Gefühl des Anstossens an einen festen Körper, und die erweckte Vorstellung ist eine unvollkommene.

Eben dieselbe Bedeutung haben die distalen Segmente auch bei der gewöhnlichen Art Gewichte zu heben, bei welcher das Abheben nicht im Verlaufe einer Bewegung geschieht, sondern den Anfang derselben bildet. Auch hier muss zwischen dem hebenden und den haltenden Segmenten, welche theils die Last umklammern, theils die umklammernden Segmente stützen, unterschieden werden. Die hebende Bewegung würde vergeblich sein, wenn nicht die distalen Segmente durch Muskelkraft gegen einander so festgestellt wären, dass sie dem Zuge des Gewichtes Widerstand leisten. Das Maass der hierzu nöthigen Muskelkraft wird nun in jedem Einzelfalle einfach palpatorisch ermittelt, indem die distalen Segmente wachsend mehr und mehr an die Last angedrückt werden, unter einer gleichzeitigen vorsichtigen Hebebewegung, bis die erste Spur einer Bewegungsempfindung, welche das Merkmal der beginnenden Abhebung ist, der weiteren Zunahme der die Fixirung bewirkenden Kräfte ein Ziel setzt. Hiernach erst setzt die hebende Arbeitsleistung des proximalen Segmentes ein. Das Wachsen der fixirenden Muskelspannungen erfolgt nun unter Leitung eines gleichzeitig entstehenden wachsenden Schweregefühles und Widerstandsgefühles, welches letztere von dem zunehmenden Druck der Gelenkenden auf einander herrührt. Die Intensität dieser centripetal zugeleiteten Empfindungen ist maassgebend für die Intensität der fortwährend auszulösenden motorischen Innervationsimpulse, das Wachsen der ersteren bedingt das Wachsen der letzteren, die schliessliche Höhe, welche erstere erreicht haben und welche durch die als Marke dienende Bewegungsempfindung der beginnenden Abhebung als definitiver Grenzwerth gekennzeichnet wird, bestimmt das Maass derjenigen Innervationsstärke der fixirenden Muskelkräfte, welche während der nun folgenden Abhebung dauernd beizubehalten ist. Eine Widerstandsempfindung muss also in den distalen Gelenken unter allen Umständen erzeugt werden, sei es durch den Stoss bei der Bewegung gegen einen Widerstand, sei es durch die mittels Muskelkraft herbeigeführte Aneinanderpressung der Gelenkenden, welche die Reihe beweglicher Segmente zu einem starren Hebelarm umgestaltet. Dieselbe wird daher bei jeder möglichen Art, durch welche eine Last mittels Muskelkraft überwunden wird, auf die Objectivirung der Schwereempfindung hinwirken können, und sie hat ausserdem, wie eben ausgeführt, im Verein mit der Schwereempfindung der distalen Segmente die Bedeutung eines maassbestimmenden Merkmales für die Auslösung motorischer Impulse.

Dass die bei der Fixirung der haltenden Segmente auftretenden

Empfindungen ausserdem in den Gesammteindruck mit einbezogen und somit auch zur Gewichtschätzung verwendet werden, lehrt ein sehr einfacher Versuch: Wenn man ein Object von genügendem Gewicht durch Bewegung im Handgelenk hebt und es dabei das eine Mal mit möglichst geringer Pressung zwischen den Fingern hält, so dass es nur eben am Abgleiten verhindert wird, das andere Mal aber mit starker Druckanwendung, so erscheint es bei ersterem Verfahren ungemein viel schwerer. Dies beruht offenbar darauf, dass das bei letzterem Verfahren von Anfang an bestehende Uebermaass von Anspannung einen Zuwachs beim Heben kaum nöthig macht, so dass die durch das Festhalten des Objectes hervorgerufenen Schwere- und Widerstandsempfindungen in den beim Anheben ausgelösten Gesammt-Sinneseindruck nicht eingehen. Aehnlich ist Folgendes: Man hänge ein Gewicht mittels einer Fadenschlinge am Unterarm auf und führe die Hebebewegung im Ellbogengelenk aus; man wird dann bemerken, dass, wenn man die Fadenschlinge immer mehr vom Ellbogengelenk entfernt und von der Hand auf den Zeigefinger überführt, die Schwereempfindung nicht mehr entsprechend der Verlängerung des Hebelarmes, sondern viel schneller zunimmt — ebenfalls unter dem Einflusse der Mitwirkung neuer haltender Segmente. Auf eine stärkere Druckempfindlichkeit des Fingers wird man dies nach den früheren Ausführungen nicht schieben können.

Unter allen Segmenten scheinen die der Finger ganz besonders geeignet zur Erzeugung der Widerstandsempfindung und damit als haltende zur Objectivirung und Verstärkung der Schwereempfindung zu sein. Es hängt dies zweifellos damit zusammen, dass die an und für sich geringe Masse des Fingers dennoch von ziemlich nahe an einander gelegenen empfindlichen Querschnitten, als welche wir die Gelenke in diesem Sinne anzusehen haben, durchbrochen sind. Ausserdem werden in Folge des den Fingersegmenten parallelen Verlaufes der Sehnen die Muskelcontractionen in erheblichem Grade auf die Verstärkung des Gelenkdruckes hinwirken.

Es ist nun weiter zu erörtern, durch welche Mittel die Widerstandsempfindung selbst auf etwas Aeusseres bezogen wird. Wir wissen von dem Inneren unserer Gelenkenden so wenig wie von unserer Netzhaut, und werden daher die von dort her entstammenden Empfindungen auf denjenigen Punkt unseres Körpers oder des Raumes beziehen, welcher uns gleichzeitig und in einer gewissen Verbindung mit jenen in die Vorstellung gerückt wird. Wenn uns gleichzeitig mit einer Widerstandsempfindung eine mittels des Ortssinnes der Haut an der Fingerspitze localisirte Druckempfindung zugeht, so werden wir auch erstere dort localisiren. Da ferner Widerstandsempfindungen fast durchgängig der Einwirkung fremder Körper auf unseren eigenen ihre Entstehung verdanken, so wird nach dieser Erfahrung

das Auftreten einer solchen Empfindung die Vorstellung eines fremden Körpers erwecken, welche gleichfalls sich an jenen Punkt anknüpfen wird, und da endlich gemäss weiterer Erfahrung Körper von gewissen Verschiedenheiten der Consistenz gewisse Nuancen der Wiederstandsempfindung erzeugen, so wird die bestimmte Art einer solchen auf Grund von Erinnerungsbildern eine bestimmte Vorstellung von der in Betracht kommenden Beschaffenheit des Körpers entstehen lassen. Auf diese Weise kann z. B. eine Widerstandsempfindung in den Interphalangealgelenken von einer gewissen Intensität die Vorstellung eines die Fingerspitze treffenden harten Objectes hervorrufen. Freilich können Widerstandsempfindungen auch durch innere Ursachen erzeugt werden, nämlich durch Muskelcontraction, hauptsächlich solche von antagonistischen Muskeln; allein wie sehr wir gewohnt sind, jene auf äussere Ursachen zu beziehen, ergiebt sich eben daraus, dass wir die letztgenannte Art von Widerstandsempfindungen ohne besonderes Studium gar nicht als solche erkennen. Man kann sich aber z. B., wenn man bei gestreckt gehaltenem Unterarm sowohl die Beuge-, wie die Streckmuskeln desselben stark anspannt, überzeugen, dass hierbei eine Widerstandsempfindung auftritt, welche man, wahrscheinlich mit Hülfe der gleichzeitig entstehenden Hautsensationen in der Gegend des Ellbogengelenkes localisirt. Aehnliches kann man bei starkem Durchbiegen des Knies wahrnehmen. Für die Projection der Widerstandsempfindung in den äusseren Raum bietet die Sonde ein Beispiel. Die unumgängliche Voraussetzung bildet die Vorstellung von der Raumlage der Sonde und speciell der Sondenspitze. Dieselbe kann in jedem Einzelfall mittels des Gesichtssinnes erworben werden. Aber auch bei geschlossenen Augen und mit einem uns in die Hand gegebenen Stäbchen von unbekannter Länge sind wir im Stande, eine Vorstellung von der relativen Raumlage des distalen Endes desselben zu bekommen und Widerstandsempfindungen auf dasselbe zu beziehen. Das Lageverhältniss des Stäbchens zur Hand erschliessen wir aus den Berührungspunkten mit der Haut in Verbindung mit der Lagewahrnehmung der Hand und der Finger selbst, die Länge desselben von der gefassten Stelle bis zum distalen Ende ermitteln wir dadurch, dass wir das Stäbchen durch die Finger gleiten lassen oder mit dem distalen Ende selbst gegen den Tisch oder irgend ein Object bewegen und nach dem Stillstand die Entfernung bis zu diesem durch weiteres Hinführen der Hand bis zu demselben oder aus dem anderweitig bekannten Lageverhältniss der Hand zu diesem Object erschliessen. Nachdem so über die relative Raumlage der Sondenspitze zum eigenen Körper eine Vorstellung gewonnen ist, wird die durch Anstossen derselben an ein Object hervorgebrachte Gelenkempfindung in diese Vorstellung associativ eingefügt und, indem die Empfindung das Erinnerungsbild einer gewissen

Eigenschaft äusserer Dinge wachruft, wird der räumlich vorgestellte Punkt mit etwas Materiellem ausgefüllt. Dies ist ein Beweis von der grossen Labilität, mit welcher das sensitive Merkmal der Widerstandsempfindung in unseren Vorstellungscomplexen, in so weit sie sich auf den äusseren Raum beziehen, Verwendung findet. Noch merkwürdiger ist die folgende Verknüpfung der Widerstands- mit der Bewegungsempfindung. Das Bewegtfühlen eines Gliedabschnittes kann natürlich auch nur so zu Stande kommen, dass die im Gelenk entstehende Bewegungsempfindung auf Grund der Vorstellung von der körperlichen Ausdehnung und der Lage des anstossenden Segmentes auf dieses selbst bezogen wird. Auch auf die Sonde, falls deren Lageverhältniss bekannt ist, kann die Bewegungsempfindung übertragen werden, indem dieselbe die Vorstellung von einer Bewegung der Sonde und Sondenspitze auslöst. Wenn man also mit dem distalen Ende eines Stäbchens in der Luft schreibt, so hat man, nachdem man sich über die Raumlage desselben orientirt hat, eine leidliche Vorstellung von den Bewegungen desselben. Stösst man nun jetzt mit letzterem ein oder einige Male gegen ein Object, eine Widerstandsempfindung producirend, und bewegt darauf von Neuem, so hat man eine viel deutlichere Vorstellung von der Bewegung des distalen Endes und legt diesem eine gewisse materielle Beschaffenheit bei; die Widerstandsempfindung und die durch sie erweckte Vorstellung klingt nämlich nach und es ist, als ob man spitz, stumpf, hart, weich in der Luft schreibe.

Es wird mithin zur Objectivirung der Widerstandsempfindung genügen, wenn durch eine gleichzeitige anderweitige Empfindung oder durch eine schon vorhandene Vorstellung eine Orientirung über die Raumlage des die Empfindung veranlassenden äusseren Objectes bereit ist — Bedingungen, welche beim Heben eines Gewichtes bezüglich der distalen Segmente erfüllt sind. Es wird aus den eben gemachten Ausführungen verständlich, dass die Hautsensibilität des Angriffspunktes nicht durchaus zur Objectivirung erforderlich ist, vielmehr ersetzt werden kann durch eine anderweitig, aus den vorliegenden Lageverhältnissen abgeleitete Vorstellung über die Lage des Angriffspunktes, bez. die Haltung des Gliedabschnittes.

Greifen wir jetzt auf die noch unerledigt gelassene Frage nach dem Substrat der Schwere-Empfindung zurück, über welches mittels der Methode der Faradisation nur festgestellt werden konnte, dass mit gleich guten Gründen entweder Gelenke oder Sehnen dafür in Anspruch genommen werden könnten. Allein durch die Ermittelungen über das Substrat der Widerstandsempfindung ändert sich die Sachlage. Denn wollte man die Schwere-Empfindung gleichfalls von einer Erhöhung des Gelenkdruckes ableiten, so würde dies bedeuten, dass sie und die Widerstandsempfindung eins seien. Dies kann aber nicht zugegeben werden. Am schärfsten prae-

sentirt sich die Verschiedenheit beider bei der paradoxen Widerstandsempfindung: wenn sie sich qualitativ glichen, so müsste man in dem Moment, wo das Gewicht aufsetzt, doch eine Steigerung der bis dahin bestandenen Empfindung bemerken; vielmehr aber hört letztere (die Schwereempfindung) auf und eine neue (die Widerstandsempfindung) tritt an ihre Stelle.

Es dürfte somit am wahrscheinlichsten sein, dass die Sehnen das Substrat der Schwereempfindung bilden. Diese Annahme würde auch insofern unsere Vorstellungen befriedigen, als die Spannungszunahme der Sehnen in einem regelmässigen Verhältniss zum statischen Moment der Last und zum Kraftaufwand stehen muss und somit die Anforderungen, welche wir Eingangs an den empfindungauslösenden Vorgang als „Index" stellten, erfüllt. Die Versuche sprechen dafür, dass hauptsächlich die Insertion und der anliegende Abschnitt der Sehne in Betracht kommt; jedoch ist eine Entscheidung darüber, ob der mehr nach dem Muskel zu liegende Sehnentheil bedeutungslos ist, vorläufig nicht zu treffen.

Die Betheiligung der Muskelsensibilität an der Schwereempfindung kann nach den Bruttoergebnissen der Faradisationsversuche nicht völlig ausgeschlossen werden, da diese Empfindung nie ganz vernichtet, sondern nur herabgesetzt wurde. Es bleibt die Wahl, die bei der Faradisation des bewegten Theiles noch vorhandene Leistungsfähigkeit der Schwereempfindung entweder von der noch vorhandenen Sensibilität der intrapolaren Strecke der Sehne, sowie von dem extrapolar gelegenen Abschnitt derselben herzuleiten oder der Wirkung der Muskelsensibilität zuzuschreiben. Auch bei letzterer Annahme würde dem Muskel ein feinerer Empfindungsapparat abgesprochen werden müssen. Jedoch hat die erstere Annahme überhaupt viel mehr Berechtigung, da die tiefere Sensibilität eben durch die anwendbaren Stromstärken durchaus nicht aufgehoben werden kann. Die Ableitung der Schwereempfindung von der Spannung des Muskels stösst ausserdem auf gewisse Schwierigkeiten: einmal nämlich ist es schwer sich vorzustellen, wie der nervenerregende Einfluss der Spannung ganz unabhängig von den Gestaltveränderungen, welchen der Muskel unterliegt, bleiben sollte, eine Collision, welche bei der Sehne fortfällt; ferner scheint es nach anderweitigen Versuchen („Ueber Muskelsinn und die Theorie der Ataxie" S. 111), dass nicht die Spannung, sondern die Contraction des Muskels eine Empfindung hervorruft, welche im Uebrigen erst bei stärkeren Contractionen eine leidliche Intensität erreicht. Dieselbe ist lediglich als Gemeingefühl aufzufassen und wird in der Gegend des Muskels selbst localisirt. Beim Heben schwerer Gewichte treten solche Muskelgemeingefühle auf und werden auf die an der Hebung sich betheiligenden Körpertheile bezogen, während die nach aussen verlegte Schwereempfindung nebenher besteht; sie mögen

übrigens wohl die Vorstellung der stattfindenden Anstrengung bilden helfen, welche durchaus von der Vorstellung des ausser uns befindlichen schweren Objectes zu trennen ist.

Die Empfindung der Schwere wird sonach durch die Spannungszunahme der Sehnen ausgelöst.

Jetzt wird nun die schon Eingangs discutirte Frage wieder aufzunehmen sein: sind die als Schwereempfindung und als Widerstandsempfindung bezeichneten Sinneseindrücke einfache Empfindungen, unmittelbar erzeugt durch die einfachen Vorgänge der Vermehrung der Sehnenspannung bez. des Gelenkdruckes? Oder liegt ihnen ein complicirtes Aggregat von Empfindungen und Vorstellungen zu Grunde?

Die Darstellung, welche ich bis jetzt gegeben habe, lässt deutlich erkennen, dass ich die in Rede stehenden Eindrücke für elementare Empfindungen halte, welche unter gewissen näher ausgeführten Bedingungen zur Vorstellung äusserer Agentien führen, welchen die Qualität der Empfindung als Eigenschaft angehängt wird. Die entgegenstehende und hier zu widerlegende Ansicht wird eine zweifache sein können: entweder wird sie billigen, dass specifische sensitive Merkmale bei jeder der beiden „Empfindungen" vorhanden sind, jedoch behaupten, dass dieselben nicht durch sich, sondern erst in Verbindung mit gewissen anderen Vorgängen, wie Innervations- und Bewegungsempfindung, jene besonderen Eindrücke hervorbringen — oder sie wird solche specifischen Empfindungselemente überhaupt in Abrede stellen und behaupten, dass die besonderen Eindrücke und Vorstellungen der Schwere und des Widerstandes nur durch gewisse Combinationen von Innervations-, Bewegungs-, Druck-, Muskel- und anderen auch sonst verwendeten Empfindungen zu Stande kommen.

Die erst angeführte Ansicht wird als widerlegt gelten müssen, wenn der Nachweis gelingt, dass Schwere und Widerstandsempfindung auch zu Stande kommen, wenn die verschiedenen vorausgesetzten Glieder jenes Aggregates fehlen.

Ich kann nun bezüglich der Schwereempfindung zunächst nachweisen, dass das Bewusstwerden der motorischen Innervationsstärke nicht erforderlich ist.

XXII. Versuch. Die linke Hand wird auf ihre Rückenfläche gelagert. Am Mittelfinger wird in der an der Beugeseite befindlichen Furche zwischen mittlerer und Endphalanx mittels Fadens ein Gewicht von 70 ^{grm} aufgehängt, welches auf einem unterhalb des Fingers angebrachten, an einem Stativ verstellbaren Tischchen so aufruht, dass es schon bei geringer Beugung des Fingers abgehoben werden muss. Der Unterarm ist mit seiner Streckfläche auf eine über zwei Klötzen fixirte breite Elektrode aufgelegt, während die

andere, kleine, Elektrode welche mit Unterbrechungsvorrichtung versehen ist, auf den motorischen Punkt der Mittelfingerpartie des Flexor digitorum profundus aufgesetzt wird. Die Schliessung und Oeffnung des (faradischen) Stromes wird von einem Gehülfen ausgeführt. Sobald nun der Strom, welcher möglichst schwach gewählt wird, geschlossen wird, und der Mittelfinger sich beugend das Gewicht abhebt, fühle ich die Schwere desselben unzweifelhaft. Dies wird nicht anders, nachdem um den Finger an der betreffenden Stelle die prall gefüllte Gummimanschette gelegt ist, über welche der Faden gehängt wird. Aber die Schwereempfindung ist allerdings erheblich weniger deutlich als beim activen Heben unter sonst gleichen Bedingungen. Ein wichtiger Unterschied zwischen der durch faradische Muskelcontraction und der activ bewirkten Hebung besteht nun darin, dass erstere mit grosser Geschwindigkeit, letztere im Allgemeinen langsam vor sich geht. Man kann sich aber leicht davon überzeugen, dass die Schwere eines Objectes viel intensiver bei vorsichtiger und langsamer Abhebung empfunden wird, als bei schneller. In der That wird die Schwereempfindung auch bei der faradisch bewirkten Hebung viel deutlicher, sobald durch geeignete Abstufung des Stromes die Bewegung des Fingers langsamer und weniger ausgiebig gemacht worden ist. Um sie nun mit dem Maasse von Schwereempfindung zu vergleichen, welches bei activer Hebung entsteht, ist es nothwendig, letztere bezüglich Geschwindigkeit und Excursion möglichst ähnlich der faradischen zu machen. Unter Berücksichtigung dieses wichtigen Umstandes fand ich die bei faradischer Contraction erfolgende Schwereempfindung zwar immer noch undeutlicher als bei activer Hebung, aber doch nur um so wenig, dass diesem Unterschied eine wesentliche Bedeutung nicht eingeräumt werden kann. Was den Schwellenwerth betrifft, so konnte ich selbst unter Einfügung der Manschette schon bei einer Belastung mit 15 ^{grm} ziemlich constant eine Schwereempfindung erzeugen. In einzelnen Versuchen, bei welchen es gelang eine genügend langsame Bewegung des Fingers zu erzielen, konnte auch eine Widerstandsempfindung im Momente des Abhebens, gleichfalls sowohl ohne als mit Manschette, constatirt werden.

Ich kann mich bezüglich dieses Resultates auf die Versuche Bernhardt's[1] berufen, welcher ebenfalls die Schwere von Gewichten, welche mittelst elektrisch bewirkter Muskelcontraction gehoben wurden, fühlte, und zwar gleichfalls am Mittelfinger. Mein Versuch ist eine Wiederholung des Bernhardt'schen. Dieser Autor legt aber dem Versuch nicht die volle Bedeutung bei, welche ihm nach meiner Ansicht zukommt. Bernhardt stösst sich daran, dass die durch das Gewicht hervorgerufene Druck- und

[1] Zur Lehre vom Muskelsinn. *Archiv für Psychiatrie.* 1872. Bd. III.

sonstigen peripherischen Sensationen das Urtheil bestimmt haben könnten, und sein Bestreben, bei Leuten mit herabgesetzter Sensibilität den Versuch auszuführen, misslang, da diese Leute durch die vom Strom ausgehenden Sensationen zu sehr gestört wurden. Allein eben das Factum, dass die Willkürlichkeit der Bewegung nicht erforderlich ist und dass die peripherische Sensibilität genügt, ist entscheidend; man muss die Consequenzen des Versuches ziehen. Wie wenig übrigens dabei die Druckempfindungen betheiligt sind, glaube ich gezeigt zu haben. Es ist speciell darauf geachtet worden, ob nicht etwa trotz der faradischen Contraction doch auch ein actives Mitwirken des Muskels stattgefunden habe, was sicher auszuschliessen ist.

XXIII. Versuch. In sitzender Stellung wird das linke Bein über das rechte, fest auf den Boden gestellte, gekreuzt. Am linken Fussgelenk ist ein schweres Gewicht aufgehängt, welches auf einer weichen Unterlage aufsteht und bei der Aufwärtsbewegung des Unterschenkels bald abgehoben werden muss. Die letztere wird nun durch Beklopfen der Patellarsehne (seitens des Gehülfen) im Reflexact hervorgerufen. Auch hierbei habe ich eine deutliche Schwere-Empfindung, sobald das Gewicht im Verlaufe der Bewegung abgehoben wird. Sie ist annähernd ebenso deutlich, als beim activen Abheben, sobald letzteres mit gleicher Geschwindigkeit wie die Reflexbewegung geschieht. Beim Zurückfallen des Beines habe ich in dem Moment, in welchem das Gewicht wieder auf die Unterlage auftrifft, ein deutliches Gefühl des Widerstandes.

XXIV. Versuch. Der Zeigefinger der linken Hand ist abwärts gerichtet und gleichzeitig hakenförmig gekrümmt. An dem bei dieser Haltung leicht aufwärts gerichteten Nagelglied ist mittels Fadens ein Gewicht aufgehängt. Der Gehülfe ergreift jetzt meine Hand, welche ich ihm völlig überlasse, und hebt und senkt dieselbe, während ich den Zeigefinger unverrückt in seiner Lage halte. Auch unter diesen Umständen nun tritt beim Abheben des Gewichtes eine deutliche Schwere-Empfindung auf, welche freilich weniger intensiv als bei activem Abheben ist. Beim passiven Aufsetzen des Gewichtes ist auch paradoxe Widerstandsempfindung vorhanden.

Beide Versuche geben einen neuen und einwandlosen Beweis, dass eine bewusste Innervation des arbeitleistenden Muskels für das Zustandekommen einer Schwere-Empfindung nicht erforderlich ist. Die letztere ist daher auch nicht abhängig von der Vorstellung eines Missverhältnisses zwischen Innervationsenergie und Bewegungsgrösse. Freilich sind in beiden Versuchen die haltenden distalen Segmente durch active Muskelkraft fixirt und der letzte demonstrirt die nachgewiesene Bedeutung der distalen Segmente für

die Schwere-Empfindung auf's Deutlichste. Man könnte nun vielleicht aufstellen, dass die entstehende Spannungsempfindung erst dadurch zur Schwereempfindung werde, dass man sich gleichzeitig eines Zuwachses an Innervationsenergie der haltenden Muskeln bewusst werde, ohne dass eine diesem entsprechende Bewegungsempfindung auftrete. Dies würde auch für die Anordnung zutreffen, bei welcher man ein Gewicht überhaupt nicht hebt, sondern nur in der Schwebe hält, — wobei man bekanntlich ebenfalls die Schwere empfindet. Allein der folgende Versuch spricht dagegen, dass wir uns der Innervationsstärken tonisch contrahirter Muskeln in solcher Weise bewusst werden, dass wir uns eine Aggregat-Vorstellung von ihnen bilden könnten.

XXV. Versuch. Mit Daumen und Zeigefinger wird ein Stäbchen gehalten, welches an seinem anderen Ende ein an einem Faden herabhängendes Gewicht trägt. Hierbei hat man eine deutliche Schwere-Empfindung. Jetzt wird die Hand activ vorsichtig und sehr langsam gesenkt, bis das Gewicht zum Aufsetzen kommt. Geschieht dies mit genügender Langsamkeit, so tritt kein paradoxes Widerstandsgefühl auf, sondern die Schwere-Empfindung schwindet einfach und man fühlt ausser diesem Schwinden nichts. Nur bei der Tendenz, die Hand wieder zu heben, tritt eine Widerstandsempfindung auf. Hieraus folgt nebenbei, dass das Verschwinden der Schwere-Empfindung an und für sich noch nicht Widerstandsempfindung setzt, woran man bezüglich der paradoxen Widerstandsempfindung hätte denken können. Bewegt man jetzt nun die Hand weiter nach unten, so hat man mit täuschender Aehnlichkeit die Empfindung, als ob man mit dem Stäbchen in ein zähes und zugleich elastisches Medium eintaucht, etwa wie beim Versuch, einen breiten Deckel in ein Gefäss mit Wasser herabzudrücken. Das Gefühl des Elastischen ergiebt sich daraus, dass die Hand beim geringsten Nachlass des Willens nach oben zurückschnellt. Es handelt sich hierbei um eine Schwereempfindung, welche nicht mit einer hebenden, sondern mit einer senkenden Bewegung verbunden ist und welche man als „paradoxe Schwereempfindung“ bezeichnen kann, da ja eine sichtbare Ursache, welche die Muskelkraft herausfordern könnte, nicht vorhanden ist. Sie kann nur davon herrühren, dass die hebenden Muskeln, welche bis zum Moment des Aufsetzens das Gewicht zu tragen hatten, sich noch im Zustande der Contraction befinden und die nach unten bewegenden Muskeln nun ihren Widerstand überwinden müssen. Man fühlt übrigens thatsächlich eine Spannung an der Streckfläche der Hand und des untersten Theiles vom Unterarm.

Versuchen wir diesen Vorgang im Sinne derjenigen Ansicht, welche ich bekämpfe, zu erklären, so würde die erste Schwere-Empfindung beim Senken der belasteten Hand sich zusammensetzen: aus einem Spannungs-

gefühl, aus dem Bewusstsein der Innervationsenergie der hebenden Muskeln und dem Fehlen einer Bewegungsempfindung im Sinne dieser Innervation. Die paradoxe Schwere-Empfindung beim Senken der unbelasteten Hand dagegen würde daher stammen, dass der Innervationsenergie der senkenden Muskeln eine abnorm geringe Bewegungsempfindung, bei gleichzeitigem Spannungsgefühl entspricht. Aber die Ursache hiervon liegt in dem Contractionszustand der hebenden Muskeln und eben die Innervationsstärke dieser war ja vorher wahrgenommen und zur Grundlage der Schwere-Empfindung gemacht worden. Da sie noch vorhanden ist, muss sie auch noch wahrgenommen werden, und es müsste also die Vorstellung entstehen, dass Innervation der senkenden Muskeln und Bewegung nur deshalb im Missverhältniss stehen, weil eine anderweitige entgegengesetzte Innervation besteht. Denn wenn die Vorstellung der Schwere als Resultat der vorhandenen Innervationsgefühle, Bewegungs- und Spannungsempfindungen abgeleitet werden soll, so muss man auch annehmen, dass diese einzelnen Glieder sämmtlich in der Vorstellung nach Art eines Aggregats mit positiven und negativen Vorzeichen verarbeitet werden. Die gegenseitigen Innervations-Verhältnisse der Antagonisten müssten wenigstens in erster Reihe im Vorstellungsresultat abgeglichen werden. Es sollte somit eigentlich hier nicht einmal zu einer Täuschung kommen. Aber man hat, wenn wir dies nachlassen, auch nicht die Vorstellung, dass die Erschwerung der Bewegung durch den eigenen Körper verursacht werde; auch nicht das Bewusstsein, die hebenden Muskeln zu innerviren, was vielmehr erst aus dem bestehenden Spannungsgefühl erschlossen wird. — Wartet man in der Haltung, bei welcher das Gewicht gerade aufgesetzt ist, kurze Zeit ab und versucht die weitere Abwärtsbewegung von neuem, so ist dieselbe jetzt leichter und schliesslich von normaler Leichtigkeit. Man kann dies Verfahren aber auch abkürzen, indem man sich nämlich bestrebt, die hebenden Muskeln möglichst schnell erschlaffen zu lassen. Als Index der erfolgten Erschlaffung benutzt man dabei ohne weiteres Nachdenken die erwähnte Spannungsempfindung, welche jedoch keine ganz sichere Anzeige gestattet; denn oft, wenn man die Muskeln völlig erschlafft zu haben glaubt, ergiebt sich beim Senken der Hand doch noch ein gewisser Grad von paradoxer Schwere-Empfindung. Macht man diesen Versuch öfter, so gelangt man ganz von selbst dazu, die Intensität der Schwere-Empfindung selbst beim Senken der Hand als Index für die mehr oder minder gelungene Erschlaffung der Musculatur zu benutzen. Hieraus folgt, dass wir weder das Maass der Contraction, noch dasjenige der Erschlaffung durch ein centrales, mit der Innervation selbst wesentlich verknüpftes Merkmal wahrnehmen.

Unter Annahme der Sehnenspannung als Grundlage einer einfachen Schwere-Empfindung erklärt sich die beschriebene Erscheinung in folgender

Weise: Beim Senken der belasteten Hand bedingen die Sehnenspannungen der das proximale bewegte Segment sowie die distalen Segmente beherrschenden Sehnen die Schwere-Empfindung. Durch das Aufsetzen des Gewichts werden die Sehnen entlastet; da aber noch ein Contractionszustand der hebenden Muskeln besteht, welcher der senkenden Bewegung einen — vorher durch das Gewicht balancirten — Widerstand entgegensetzt, so wird beim Fortführen der Hand nach unten die Sehnenspannung der senkenden Muskeln einen Zuwachs erleiden, welchem eine neue Schwere-Empfindung entspricht. Hiernach wird man das Ergebniss des XXIII. und XXIV. Versuches nicht davon herleiten können, dass man sich des Zuwachses an Innervationsenergie der die haltenden distalen Segmente beherrschenden Muskeln bewusst werde und wird somit auf die Annahme einer Mitwirkung eines dem Innervationsact an sich zukommenden Merkmals bei der Schwere-Empfindung verzichten müssen.

Unter diesen Umständen kann auch das Verhältniss der Innervationsstärke zur Bewegungsempfindung nicht in Frage kommen. Man fühlt bekanntlich die Schwere eines Gewichtes auch, wenn man dasselbe ruhig in der Schwebe hält, allein man könnte sich hier auf das Ausbleiben der Bewegungsempfindung berufen. Ein Umstand jedoch, welcher gegen die Bedeutung der Bewegungsempfindung spricht, ist der, dass die distalen gehaltenen Segmente sich an dem jedesmaligen Maass von Schwere-Empfindung betheiligen. Zwischen diesen starr gehaltenen Theilen und der im bewegten Gelenk zu Stande kommenden Bewegungsempfindung kann keine Beziehung hergestellt werden. Freilich wird den einzelnen distalen Segmenten selbst durch das Gewicht ein Bewegungsmoment ertheilt, welches durch Muskelkraft und Gelenkwiderstand vernichtet wird, allein es möchte in der That wenig für sich haben, dem Ausfall dieser Empfindungselemente eine wesentliche Bedeutung zuzuschreiben. Bei der paradoxen Schwereempfindung im vorher beschriebenen Versuche hat die Verminderung der Bewegungsempfindung nach dem Aufsetzen des Gewichts, auf welche man vielleicht Werth zu legen geneigt sein könnte, sicherlich keine Bedeutung. Denn wenn man die Hand mit dem herabhängenden Gewicht ruhig hält und, nachdem ein Gehülfe das Gewicht von unten her unterstützt und gehoben hat, nach unten bewegt, so hat man dieselbe Empfindung, in ein zähes Medium einzudringen, wie sie oben beschrieben war. Ebenso, wenn die belastete Hand, in einer Aufwärtsbewegung begriffen, gleichzeitig mit der durch den Gehülfen bewirkten Unterstützung des Gewichts in Senkung übergeht.

So erscheint denn die in der Peripherie entstehende Spannungsempfindung als der allein wesentliche Theil des vermeintlichen Aggregates, welches

der Schwereempfindung zu Grunde liegen soll und damit als identisch mit letzterer.

Derselbe Beweis lässt sich nun auch für die Widerstandsempfindung führen. Es wurde bei der Beschreibung der obigen Versuche schon gesagt, dass unter denselben Bedingungen der Ausschliessung bewusster Innervationen auch Widerstandsempfindung zu Stande kam. Ueberzeugend ist es ferner, dass man deutliche Widerstandsempfindungen hat, wenn man ein Stäbchen fest zwischen zwei Finger klemmt und nun die Hand durch eine andere Person führen lässt, welcher man dieselbe ganz überlässt und welche es so einrichtet, dass das distale Ende des Stäbchens hier und da bei der Bewegung auf einen Widerstand stösst. Wollte man auch hier sich auf die Innervation der das Stäbchen festhaltenden Muskeln berufen, so ist hiergegen zu sagen, dass sich an der Intensität dieser Innervation im Augenblick des Anstossens an ein Object doch nichts ändern kann. Auch das Verschwinden der Bewegungsempfindung ist von keiner Bedeutung, wie daraus hervorgeht, dass man eine Widerstandsempfindung auch dann hat, wenn bei ruhiger Haltung der Hand seitens einer anderen Person ein Object einem in der Hand gehaltenen Stäbchen entgegengeführt wird. Es ist also keineswegs erforderlich, dass die eigene Bewegung einen Stillstand erfährt.

Mit jener ersten Ansicht ist nun gleichzeitig auch die zweite widerlegt, da dieselbe noch viel weiter gehende Ansprüche an die als unwesentlich erkannten Vorstellungselemente stellt.

Es existiren also zwei den sonst bekannten einfachen Empfindungen analoge Empfindungselemente: die Empfindung der Schwere, bedingt wahrscheinlich durch Sehnenspannung, und die Widerstandsempfinduug, bedingt durch den gegenseitigen Druck der Gelenkenden. Jede von ihnen besitzt eine eigenthümliche, nur ihr eigene Qualität; die der ersteren ist genügend charakteristisch und einfach mit dem Ausdruck „Schwere“ zu bezeichnen, wobei man sich an der vielfachen sonstigen Verwendung desselben um so weniger zu stossen hat, als er zweifellos ursprünglich von dem Sinneseindruck und nicht von der Kraftanstrengung abgeleitet ist; die Qualität der Widerstandsempfindung ist dagegen nicht näher zu bezeichnen. Die Schwereempfindung verbindet sich mit anderen einfachen Sinneseindrücken sowie mit gewissen Vorstellungen, indem sie dem schon vorhandenen Complex dass Attribut „schwer“ einfügt; so mit einer Bewegungsempfindung zum Eindruck einer schweren Bewegung; mit einer bestimmten Lagevorstellung eines Körpertheiles zu dem Eindruck, dass derselbe schwer erscheint; mit der Vorstellung eines ausser uns befindlichen und auf uns wirkenden Seienden zur Vorstellung eines schweren Objects. Aehnlich die Widerstandsempfindung. Sie erweckt an und für sich noch nicht die Vor-

stellung eines ausserhalb von uns befindlichen Widerstandes, wird jedoch lediglich durch einen Widerstand erzeugt, welchen die knöchernen Theile sei es nun nach aussen hin, sei es gegen einander finden, was im Wesen auf dasselbe hinauskommt, da man jedes Segment als ein Endglied und das daran stossende im Verhältniss zu ihm als einen fremden Körper auffassen kann. Der Name ist nicht glücklich, weil er die Qualität nicht angiebt, wie es bei Bezeichnungen für Sinnesempfindungen sein sollte; aber er ist nicht schlechter als etwa für eine andere Art von Sensationen die Bezeichnung „Spannungsempfindung," welche gleichfalls von dem mechanischen Vorgang, welcher der Empfindung zu Grunde liegt, entnommen ist. Die Qualität der Widerstandsempfindung lässt sich aber nicht eben durch ein Wort passend bezeichnen. Um dem Missverständnisse vorzubeugen, als bestehe der Inhalt der Widerstandsempfindung darin, dass sich der Seele unmittelbar der Eindruck eines von aussen herantretenden Widerstandes aufdränge, könnte man sie allenfalls „Gelenkdruckempfindung" nennen. Der Widerstand, welchen die knöchernen Theile in den Gelenken gegenseitig finden, erzeugt also ein Empfindungselement, ein sensitives Merkmal, welches jedoch an sich noch nichts darüber aussagt, woher der Widerstand veranlasst und wie er gerichtet ist. Da der Widerstand der Gelenkenden fast nur durch äussere Einwirkungen vermehrt wird und äussere Widerstände constant dieses Empfindungsmerkmal erzeugen, so wird dasselbe, wo es auftritt, mit ganz besonderer Leichtigkeit die Vorstellung des Exogenen anfachen, sobald es nur mit anderen Eindrücken oder Vorstellungen zusammentrifft, welche dasselbe mit Beziehung auf Richtung und Oertlichkeit — des eigenen Körpers — complementiren. Dass die innige Beziehung dieser bestimmten Qualität von Empfindung zur Vorstellung von äusseren Vorgängen schliesslich durch Erfahrung und unter Mitwirkung anderer Sinnesmodalitäten erworben sei, entspricht durchaus meiner Anschauung. So genügt für die Widerstandsempfindung das Zusammentreffen mit einer, demselben oder benachbarten Segmenten angehörigen localisirten Druckempfindung, um die Vorstellung eines von aussen auf diesen Punkt wirkenden Widerstandes zu erzeugen; das Zusammentreffen mit einer Bewegungs- und localisirten Druckempfindung, um die Vorstellung entstehen zu lassen, dass das bewegte Glied an einem bestimmten Punkte auf einen Widerstand gestossen, dessen Richtung aus der Combination der Lage des Punktes und der eigenen Bewegungsrichtung vorgestellt wird. Die Vorstellungen eines ausser uns befindlichen schweren Objectes oder eines von aussen wirkenden Widerstandes sind somit zweifellos complexe Producte, aber nicht aus Gliedern, welche die von uns aufgewendete Kraftleistung, sowie den Erfolg derselben in Form von Merkmalen, welche auf die Seele wirken, umfassen, sondern aus solchen, welche von der gesammten Kette

von physiologischen Vorgängen lediglich die Veränderungen und Einwirkungen, welche die der Aussenwelt gegenüber gestellte Peripherie des Körpers erleidet, enthalten. Ich kann daher auch nicht anerkennen, dass wir die von uns aufgewendete Kraft wahrzunehmen im Stande seien, was die Bezeichnung „Kraftsinn" involvirt, und dass für die Schätzung der Schwere eines Gewichtes das Maass der bei der Hebung desselben verrichteten Arbeit in Betracht komme. Wie man sich nun auf Grund unseres Standpunktes die willkürliche Auslösung einer bestimmten und noch dazu für gewisse Fälle gerade zutreffenden Innervationsstärke zu denken hat, wird bei der Erörterung der activen Bewegung auszuführen sein.

Aus meinen Ermittelungen ergeben sich einige Schlussfolgerungen, welche für die Untersuchung der Leistungsfähigkeit des „Kraftsinns", insoweit es sich um die Vergleichung verschiedener Gliedmaassen handelt, wichtig sind. Kommt es lediglich auf psychophysische Maassbestimmungen an, so wird es genügen, einen und denselben Modus der Application der Belastung festzuhalten und man wird dadurch die mannigfachen im Folgenden kurz zu berührenden Complicationen vermeiden, wie dies ja auch von Seiten der Autoren geschehen ist. Anders dagegen, wenn die Empfindlichkeit verschiedener Gliedmaassen physiologisch vergleichend ermittelt werden soll. Es liegen in dieser Beziehung bis jetzt nur spärliche Angaben von Bernhardt, Leyden, Chavet, Hitzig vor. Zunächst wird es Angesichts des bedeutsamen Unterschiedes, welchen wir zwischen eingliederiger und mehrgliederiger Bewegung bezüglich der Schwereempfindung constatirt haben, nicht genügen, etwa zwischen oberen und unteren Gliedmaassen schlechthin unterscheiden zu wollen. Wir werden z. B. keinen Vergleich ziehen können zwischen einem Modus, bei welchem ein Gewicht mit den Fingern umfasst und im Schultergelenk gehoben wird und einem anderen, bei welchem es am Mittelfuss aufgehängt und mittelst Bewegung im Hüftgelenk gehoben wird. Streng genommen müsste vielmehr Schwellenwerth und Unterschiedsempfindlichkeit der Schwereempfindung für jedes Segment gesondert ermittelt werden. Hierbei würden die statischen Verhältnisse entweder wirklich gleichartig gestaltet oder doch durch Umrechnung reducirt werden müssen. Da nämlich die Segmente einarmige Hebel vorstellen, so wird nicht bloss die Entfernung des durch lothrechte Projection der Last auf den Hebelarm ermittelten Angriffspunktes von dem Drehpunkt des Segmentes (L) in Betracht kommen, sondern auch das Verhältniss dieser Entfernung zu der Entfernung des Sehnenansatzes vom Drehpunkt (l). Dieses Verhältniss $\frac{L}{l}$ muss zuvörderst auf ein gleiches reducirt werden, ehe man die „Empfindlichkeit" vergleichen kann. Aber nicht genug hiermit: es muss auch das statische Moment des Segmentes selbst in Rechnung ge-

zogen werden, welches sich aus seinem Eigengewicht und der Lage seines Schwerpunktes ergiebt. Die exacte Untersuchung der Leistungsfähigkeit der Schwereempfindung bei den einzelnen Segmenten wird sonach mit complicirten Verhältnissen und mit Factoren zu rechnen haben, über welche genauere Daten bis jetzt nicht bekannt gegeben sind und erst zu ermitteln sein würden, wie Lage des Schwerpunktes, Entfernung der Sehnenansätze verschiedener Segmente. Die von mir, immerhin in reichlicher Anzahl, mit Bezug hierauf angestellten Versuche haben daher nicht den Zweck verfolgt, absolute brauchbare Werthe über die Leistung der Schwereempfindung bei den einzelnen Segmenten zu ermitteln, sondern nur einen vorarbeitenden, nämlich den Beweis zu liefern, dass die eben aufgeführten statischen Verhältnisse thatsächlich das Maass der Schwereempfindung in jedem Einzelfall bestimmen.

Dass die eben merkliche Belastung mit wachsender Entfernung vom Gelenk kleiner wird, habe ich durch Versuche mittelst Hebebewegung im Hand- sowie Ellbogengelenk sicher nachweisen können. Die Hebungen geschahen eingliederig und die zur Vergleichung nothwendigen Hebelarmlängen wurden dadurch gewonnen, dass Schienen mit Ausschliessung der distalen Segmente an der Mittelhand bezw. dem Unterarm befestigt wurden. Eine genaue Proportion der Schwellenwerthe zu den Entfernungen konnte jedoch nicht constatirt werden. Die Abhebung geschah immer bei dem Durchgang des Segments durch die horizontale Lage. Sobald man sich nicht einer solchen abstehenden Schiene bedient, sondern die Hebelarmlänge dadurch zu vergrössern sucht, dass man den Angriffspunkt der Last auf distale Segmente verschiebt, erhält man wesentlich andere Resultate, nämlich viel kleinere Schwellenwerthe. Ich habe mich ferner davon überzeugen können, dass der Winkel, welchen die Zugrichtung des Gewichtes mit dem Gliede bildet, von Einfluss auf den Schwellenwerth ist; die Empfindlichkeit ist am grössten, wenn die Abhebung beim Passiren der horizontalen Lage erfolgt. Dass das statische Moment des gehobenen Gliedes selbst zu berücksichtigen sei, nahm auch Fechner bei seinen psychophysischen Versuchen an. Es folgt dies schon aus dem Umstande, dass wir die Schwere unserer Glieder bei einiger Aufmerksamkeit sehr wohl wahrzunehmen im Stande sind. Wenn man den Arm im Schultergelenk das eine Mal in einer solchen Haltung erhebt, bei welcher der Unterarm im Winkel von 90° gegen den Oberarm gestellt und zugleich nach oben gerichtet ist, das andere Mal in völlig gestreckter Haltung, so bemerkt man leicht, wie er bei letzterer schwerer erscheint, — weil sein statisches Moment grösser ist. Dahin gehört auch eine S. 149 von mir angeführte Beobachtung, dass die activen Fingerbewegungen nach Einwirkung eines starken faradischen Stromes noch eine Zeit lang auffallend leicht erschienen — offenbar wegen

der Beeinträchtigung der uns von dem Eigengewicht der Glieder Kunde gebenden Sehnensensibilität. Ich suchte mir nun ein Bild von der Bedeutung des statischen Moments der Gliedmaassen dadurch zu verschaffen, dass ich das Verhältniss $\frac{L}{l}$ gleich machte. Das einfachste schien mir: $L = l$ zu machen, d. h. die Last dort anzubringen, wo die Sehnenansätze sich befinden. Dies ist natürlich nur in ungenauer Weise möglich und muss dort vorläufig ganz aufgegeben werden, wo es sich um synergische Muskeln mit Sehnenansätzen an verschiedenen Punkten des Gliedes handelt. Jedoch dürften Ergebnisse verwerthbar sein, welche ich bei eingliederiger Hebung im II. und I. Interphalangealgelenk und im Handgelenk erhielt. Es erschien nämlich nahezu constant als eben merklich bei Aufhängung an einem Punkte, welcher annäherungsweise dem Ansatz der bezüglichen Beugesehnen bezw. dessen Mitte entsprach, bei Hebung[1]

im II. Interphalangealgelenk: eine Last von 20 grm;
„ I. „ eine solche von 20 grm;
„ Handgelenk: eine solche von 35 grm.

Diese Zahlen verlieren ihre Bedeutung nicht durch den Einwand, dass keine Sicherheit bezüglich der Uebereinstimmung der gewählten Distancen mit den wirklichen bestehe. Denn die Belastung von 20 grm wird bei Hebung im Handgelenk erst dann gefühlt, wenn sie bis zu einer Entfernung von 5·5 cm vom Gelenk abgerückt wird, was entschieden erheblich die Entfernung der in Betracht kommenden Sehnenansätze übertrifft. Es liegt gewiss nahe, den Unterschied der Schwellenwerthe auf das grössere Eigengewicht der Hand im Vergleich zu einer oder zwei Phalangen zu schieben. Die Schwelle der Schwereempfindung ist daher im Grunde als eine Unterschiedsschwelle anzusehen, und es wäre von Interesse zu ermitteln, ob das statische Moment der eben merklichen Belastung bei den verschiedenen Segmenten, welche übrigens im Schwerpunkte derselben am passendsten anzubringen wäre, zum statischen Moment des Segmentes selbst in einem constanten Verhältniss steht. Nur auf diese Weise könnte auch zugleich erforscht werden, ob die Sinnesleistung des sogenannten Kraftsinnes an verschiedenen Gliedabschnitten dieselbe oder eine verschiedene Feinheit besitze. Die soeben näher ausgeführten statischen Verhältnisse werden nun nicht bloss auf die Schwellenwerthe, sondern auch auf die Werthe der Unterschiedsempfindlichkeit influiren, sobald man bei der Prüfung derselben von willkürlich gewählten Anfangsbelastungen, nicht solchen, welche den verschiedenen statischen Momenten der Gliedabschnitte Rechnung tragen, aus-

[1] Die Entfernung vom Gelenke betrug: beim II. Interphalangealgelenk 0·2—0·3 cm, beim I. Interphalangealgelenk 0·3 cm, beim Handgelenk 3·2 cm.

geht. Da die nöthigen Daten zur Anstellung rationeller vergleichender Prüfungen noch nicht vorliegen, so wird es sich bei klinischen Untersuchungen empfehlen, auf eine Vergleichung der Empfindlichkeit verschiedener Extremitätentheile mit einander zu verzichten und sich auf eine solche mit den gleichliegenden Theilen gesunder Personen unter strenger Beobachtung einer gleichmässigen Versuchsanordnung hier wie da zu beschränken.

Für die klinische Prüfung des Vermögens Gewichte zu erkennen und zu unterscheiden, erwächst noch eine andere lehrreiche Folgerung aus den vorstehenden Untersuchungen. Die Beziehungen dieses Vermögens zur peripherischen und Muskelsensibilität sind casuistisch schon von verschiedenen Autoren erörtert worden und zwar nicht ganz übereinstimmend, da man dasselbe bei herabgesetzter Sensibilität ebenso wohl bedeutend herabgesetzt, wie auffallend wenig beeinträchtigt gefunden hat. Wir haben nun gesehen, dass man eine Schwereempfindung auch haben kann, wenn die Angriffsstelle der Last selbst anaesthetisch ist und dass der functionelle Ausfall der distalen Segmente die Schwereempfindung zwar abstumpft, aber nicht aufhebt. Es wird daher bei klinischen Prüfungen selbst bei peripherischer Anaesthesie doch Schwereempfindung zu constatiren sein, sobald nur die Sehnensensibilität des proximalen Segmentes, an welchem die Hebung stattfindet, noch erhalten ist. Die Differenzen der klinischen Erhebungen dürften sich wohl auf gewisse Verschiedenheiten der Verbreitung der Hypaesthesie über die distalen Gliedabschnitte zurückführen lassen, ganz abgesehen davon, dass die Hautsensibilität ja überhaupt mit der in Rede stehenden Fähigkeit nichts zu thun hat. Auch die Beobachtung von Leyden, dass Tabiker mit bedeutender Sensibilitätsstörung Gewichte mit derselben Schärfe wie Gesunde unterscheiden konnten, dass aber ein höheres absolutes Gewicht erforderlich war, kann man durch eine Hypaesthesie distaler Segmente bei normaler Sensibilität des proximalen gehobenen Segments, wenigstens der Sehnen desselben, erklären.

III. Ueber die Wahrnehmung der Lage und Haltung der Glieder.

Die Wahrnehmung der Lage und Haltung der Gliedmaassen ist die complicirteste und vielseitigste derjenigen Leistungen, welche dem Gebiet des „Muskelsinns“ zugeschrieben zu werden pflegen. Es ist ausser aller Discussion, dass es sich bei derselben um die Concurrenz zweier verschiedener Sinnessysteme handeln muss, denn man kann sich die Fähigkeit, die Lage der Körpertheile wahrzunehmen, nur in der Weise zu Stande kommend denken, dass uns je durch ein gewisses Lageverhältniss derselben

gewisse Empfindungen zugehen, bezüglich deren ein anderes Sinnesorgan nun aussagt, dass sie vorhanden sind, wenn gleichzeitig eben jenes Lageverhältniss besteht. Am einfachsten wird sich der Vorgang gestalten, wenn dieses associirend thätige Sinnesorgan das Auge ist. Bei Blindgeborenen wird der Gefühlssinn mit allen seinen Arten, speciell den als „Muskelsinn" selbst bezeichneten Functionen und Mitteln die controlirende Aufgabe haben, indem die eine Extremität die andere betasten und so die Lage derselben gleichzeitig mit den von letzterer ausgehenden eigenen Sensationen zum Bewusstsein bringen wird. Da wir, um mittels eines Gliedes zu tasten und Formen zu erkennen, von diesem selbst zunächst Lagewahrnehmungen haben müssen, so wird eine vollkommene Lagewahrnehmung unter diesen Umständen überhaupt nicht zu Stande kommen, vielmehr nur eine Association von Empfindungen des einen Gliedmaasses mit Empfindungen und Empfindungsreihen des anderen, bei welchen letzteren wahrscheinlich auch der Zeitsinn betheiligt wird. Eine Art von Orientirung wird auch hierdurch möglich sein, wenn wir Sehenden uns auch keinen rechten Begriff von der Beschaffenheit der dabei entstehenden Vorstellungen machen können. Mit einem beliebigen Lageverhältniss wird nun eine doppelte Reihe von Eindrücken verbunden sein; nämlich solche, welche eben diesem selbst entstammen und solche, welche bei dem Uebergang in dieses Lageverhältniss aus einem anderen vorher bestandenen erfolgten und nun noch nachklingen bez. als Erinnerungsbilder wachgerufen werden. Zur Aufstellung dieser zweiten Kategorie sind wir um so mehr berechtigt, als nach unseren früheren Ermittelungen das Bewusstwerden der Bewegung mittels einer einfachen Empfindung erfolgt und nicht etwa auf die Combination von Lagewahrnehmungen selbst basirt ist. Die Wahrnehmungselemente werden ferner für jede der beiden Kategorien verschiedene sein, je nachdem das jeweilige Stellungsverhältniss der Gliedtheile zu einander durch Lagerung auf einer stützenden Unterlage oder durch active Haltung und je nachdem die Veränderung dieses Verhältnisses durch passive oder active Bewegung hergestellt ist.

Die Voraussetzung des Vermögens, das Stellungsverhältniss der Segmente zu einander wahrzunehmen ist die Fähigkeit, jedes einzelne körperlich zu fühlen, und zwar einmal überhaupt räumlich ausgedehnt und ferner durch eine formgebende Fläche begrenzt. Eine Discussion über die Herleitung des räumlichen Vorstellungsvermögens dürfte hier nicht am Platze sein und auch den Gegenstand nicht fördern. Dagegen sind die Bedingungen, unter welchen die Vorstellung von der Form des Gliedtheiles, das stereoaesthetische oder stereo-gnostische Vermögen, zu Stande kommt, zu erörtern. Als Empfindungselemente, welche dieser Vorstellung zu Grunde liegen, werden in erster Linie die von der Begrenzungsfläche, dem Mante-

des Gliedes, herstammenden Sensationen in Betracht kommen. Es kann somit gar kein Zweifel darüber bestehen, dass die Hautsensibilität eine Bedingung der Stereognosie und somit auch der Lage- bez. Haltungswahrnehmung ist. Man überzeugt sich in der That leicht, dass die Vorstellung von der Form irgend eines Gliedabschnittes erheblich deutlicher hervortritt, sobald die Hautnerven desselben, besonders die Drucknerven, in Erregung versetzt werden, sei es durch mechanische oder durch chemische Reize. Dass mit jedem der in die Empfindung tretenden Punkte zugleich eine gewisse Vorstellung der örtlichen Lage desselben entsteht — Localzeichen —, kann selbstverständlich ebenfalls nur auf die Mitwirkung eines zweiten Sinnesorgans, des Gesichts- oder des Tast- und Muskelsinns, zurückgeführt werden, wenigstens was den individuellen Erwerb dieser Fähigkeit anbetrifft. Haben wir etwa gelernt, dass die Sensation, welche bei Druck auf die Vola der Nagelphalanx entsteht, sich qualitativ von derjenigen, welche bei Druck auf das Dorsum derselben auftritt, unterscheidet, und haben wir andererseits Gesichtserinnerungsbilder für die Vola und das Dorsum erworben, beziehungsweise erfahren, dass nach Ausführung gewisser Bewegungen, welche also mit gewissen Bewegungsempfindungen verbunden sind, derselbe Druck, welcher vorher die Volaqualität hervorbrachte, jetzt die Dorsumqualität producirt, so wird das Auftreten der einen oder anderen Druckqualität für sich allein im Stande sein, die durch die Association mit jenen anderen Sinneseindrücken entstandenen Vorstellungen über die Oertlichkeit wachzurufen. Hautsensationen werden nun, allerdings in geringer Stärke und wahrscheinlich grösstentheils untermerklich, fortwährend durch den Puls producirt. Bei der Lagerung der Theile werden ausserdem infolge des Druckes, welchen gewisse Hautpartien erleiden, Sensationen erweckt, während bei der activen Haltung der Zug der Sehnen sich der benachbarten Haut mittheilt und ferner in der Gegend der Gelenke die Haut entweder gedehnt bez. verschoben oder gefaltet wird, vielleicht auch bei stärkerer Muskelcontraction die über dem Muskelbauch gelegene Hautpartie durch Druck betheiligt wird; diese mechanischen Einwirkungen werden gleichfalls merkliche Erregungen der Hautnerven setzen. Jedoch ist es einleuchtend, dass alle diese Dinge nicht den gesammten Mantel des Gliedes, sondern nur einzelne Theile desselben betreffen werden. In der That ist die Lagewahrnehmung eines ruhenden Gliedes auch eine wenig vollkommene. Sie wird jedoch deutlicher, sobald eine Bewegung vorgenommen wird, namentlich falls diese activ geschieht. Alle Hautsensationen müssen dabei einen Zuwachs erleiden, sei es durch die Verstärkung des äusseren Druckes bei der passiven, sei es durch die Vermehrung der Dehnung und Faltung der Haut, sowie des von den Sehnen auf dieselbe ausgeübten Druckes bei der activen Bewegung. Ausser den von der Haut ausgehenden sensitiven Merk-

malen werden wir auch die Sehnenspannungen selbst, welche die Folge des Widerstandes der Gliedmaassen sind, bei der activen Haltung, vornehmlich aber bei der activen Bewegung, für die Lagewahrnehmung verwerthen. Denn sobald wir das Gefühl der Sehnenspannung localisiren können, was zweifellos der Fall ist und vielleicht durch die gleichzeitigen Hautsensationen ermöglicht wird —, dürfte dasselbe uns eine grosse Mannigfaltigkeit von Merkmalen zuführen können, da die statischen Momente der Gliedabschnitte je nach der gegenseitigen Stellung der letzteren und somit auch die Sehnenspannungen von verschiedener Grösse sein müssen. Damit gelangen wir zur eigentlichen Wahrnehmung der gegenseitigen Stellungsverhältnisse der Segmente, welche man, wenn es auf begriffliche Unterscheidungen ankommt, im Gegensatz zur Stereognosie als „Enklisiognosie“ bezeichnen könnte. Neben den Empfindungen der Sehnenspannung werden auch hier Hautsensationen als Merkmale fungiren, aber in andersartiger Verwerthung als bei der Stereognosie, für welche sie nur insofern in Betracht kamen, als sie überhaupt Ortsvorstellungen über die Begrenzungen des Gliedes anregten, während die Enklisiognosie auf Ort und Verbreitung derselben sich stützen wird. Die Vertheilung und Verbreitung der Dehnungen, Faltungen, inneren Druckwirkungen der Haut wird in einem regelmässigen Verhältniss zu der Grösse der in den Gelenken gebildeten Winkel stehen; die damit einhergehenden Empfindungen werden mithin brauchbare Indices abgeben. Bei einer gewissen Haltung wird ihre Summe ein Minimum bilden und zwar bei einer Mittellage zwischen Beugung und Streckung; mit der Entfernung von dieser Lage werden sie zunehmen. Bei passiver Lagerung werden diese Merkmale unterstützt bez. ersetzt werden durch die an den Druckstellen erregten Sensationen. Sowohl die Sehnen- wie die Hautempfindungen werden durch beginnende Bewegung deutlicher werden. Ob die jedesmalige Art der gegenseitigen Stellung der Gelenkenden Gelenkempfindungen producirt, welche von einander unterschieden und dadurch als Merkmale benutzt werden können, ist noch nicht zu ermitteln gewesen.

Ist das Glied in Bewegung, so kommt es zu einer Association der im Gelenk entstehenden Bewegungsempfindung mit den vom Gliedmantel herstammenden Sensationen sowie bei activen Bewegungen mit den Sehnenspannungs-Empfindungen, welche hierbei besonders für die Richtung der Bewegung Merkmale bilden werden. Mittels dieser Association wird in der Vorstellung die Bewegungsempfindung auf das stereo- und enklisiognostisch vorgestellte gesammte Glied übertragen werden. Wenn man irgend einen Punkt der Hautoberfläche eines Gliedes durch einen Stich oder sonst wie in lebhafte Empfindung versetzt und dasselbe nun bewegt, so hat man mit voller Deutlichkeit die Vorstellung, dass der empfundene Punkt sich bewegt. Wie sollte die Veränderung der Lage des gereizten

Punktes im Raume nun auf uns wirken, wenn nicht durch einen solchen Vorgang der Association? Die während der Bewegung besonders intensiv und zahlreich hervortretenden Empfindungen von Haut- und Sehnenspannungen werden bei erfolgtem Stillstand erheblich nachlassen, allein die durch sie geweckte lebhaftere Vorstellung wird ein Erinnerungsbild hinterlassen, welches die bei der Ruhelage dumpfere Vorstellung wirksam unterstützen wird, falls die erstere nicht über einen zu langen Zeitraum hinaus anhält.

Die aufgeführten Empfindungen betreffen nun bloss einzelne Stellen des Gliedes, nämlich die Haut in der Gegend der Gelenke und Sehnen, allenfalls noch einzelner oberflächlicherer Muskelbäuche und die Sehnen selbst. Sollten wir aus diesen vereinzelten Sensationen, welche gleichsam eine durchbrochene Arbeit liefern, die Form und Lage des Gliedes vervollständigen können? Oder giebt es einen inneren Sinn, eine Art von Gemeingefühl, welcher uns von allen Theilchen des Gliedes, von seiner Totalität, Nachrichten giebt, auf welche wir unsere Lage-Wahrnehmung gründen? Ich glaube nicht fehl zu gehen, wenn ich behaupte, dass die Neigung zu einer solchen Annahme namentlich bei philosophischen Erörterungen des Muskelsinns sich nicht allzu selten angedeutet findet. Allein es sind in der That nur jene partiellen Veränderungen und Empfindungen, welche in Gestalt von erlernten Merkmalen unserer Lagewahrnehmung zu Grunde liegen und zwar so, dass sie optische Erinnerungsbilder von der Lage der Glieder erwecken. Unsere Lagevorstellungen sind optischer Art und jene sensitiven Merkmale, von welchen sie angeregt werden, kommen uns als solche im Allgemeinen nur dann deutlich zum Bewusstsein, wenn wir unsere Aufmerksamkeit speciell auf sie richten.

Dass die sensitiven Merkmale für die Lagewahrnehmung nun thatsächlich im wesentlichen der Peripherie, dem betreffenden Gliedabschnitt selbst, entstammen, lässt sich wiederum mittels des faradischen Stromes nachweisen. Wird derselbe nämlich in so bedeutender Stärke durch den Finger geführt, dass letzterer gegen äussere Reize nahezu anaesthetisch ist, so zeigt sich die Lagewahrnehmung einfach aufgehoben. Es ist nicht möglich auszusagen, welche Lage der Finger inne habe; passiv ertheilte Veränderungen derselben kommen nicht zum Bewusstsein und bei activer Lageveränderung besteht keine Sicherheit darüber, ob die beabsichtigte Lage wirklich herbeigeführt ist.

Bezüglich der Lagewahrnehmung sind die eignen Gliedmaassen als fremde Körper zu betrachten, und zwar in der Art, dass jeder in seiner Lage für sich veränderliche Gliedabschnitt in Beziehung zu dem ihm proximal anliegenden einen fremden Körper darstellt, dessen Lageveränderung mit gewissen Merkmalen verknüpft ist, welche an und für sich nichts mit einer räumlichen Vorstellung zu thun haben, aber auf Grund gewohnter

Associationen mit Gesichtswahrnehmungen räumliche Vorstellungsbilder optischer Art entstehen lassen. Die Vorstellung von der Lage der eigenen Glieder ist nicht erheblich lebhafter und durchaus nicht anderer Art als diejenige von dem Lageverhältniss äusserer Objecte zu unserem Körper. Ein lehrreiches Beispiel bietet der schon einmal besprochene Gebrauch der Sonde. Die Indices für die Wahrnehmung der Sondenlage (bei geschlossenen Augen) sind im wesentlichen die an den Berührungsstellen der Sonde mit den Fingern entstehenden localisirten Druckempfindungen in Verbindung mit einer Vorstellung von der Lage der Finger und wohl auch einem optischen Erinnerungsbilde von der Form der Sonde. Diese Combinationen von Merkmalen und Vorstellungen genügen, um uns eine zutreffende Vorstellung von der Lage auch des ausserhalb unserer Finger befindlichen Sondentheils zu geben, so dass wir wahrzunehmen glauben, wie sich die Sonde in einer bestimmten Richtung von unserer Hand weg erstreckt. Wissen wir über ihre Länge nichts, so haben wir zunächst die Vorstellung, dass sie in dem Raum gleichsam verschwimmt. Haben wir jedoch die Längenausdehnung derselben durch eine der früher geschilderten Methoden ermittelt, so nehmen wir nun die Lage der ganzen Sonde bis zu ihrem Ende wahr und wenn wir mit derselben in der Luft schreiben, so entsteht in uns eine deutliche Vorstellung von der Bewegung, welche die Sondenspitze im Raum ausführt. Noch auffallender ist folgendes: Wenn wir die Sonde so bewegen, 'dass sie den Mantel eines abgestumpften Kegels beschreibt, dessen ideelle Spitze in der Gegend des Handgelenks liegt, während die Fingerspitzen die kleinere kreisförmige Begrenzungsfläche umschreiben, so haben wir eine deutliche und zutreffende Vorstellung von der Grösse des von der Sonderspitze beschriebenen Kreises, welcher doch viel grösser ist als der von den Fingerspitzen beschriebene, so dass wir, je nach der Richtung, welche wir unserer Aufmerksamkeit geben, bald jenen grösseren, bald diesen kleineren Kreis wahrnehmen. Noch deutlicher wird die Vorstellung von der Sondenspitzenbewegung durch ein vorher mittels Aufstossens der Sonde erzeugtes Widerstandsgefühl (s. oben), welches wir auf die Sondenspitze projiciren und dessen Erinnerungsbild wir nun auf Grund derselben Association bewegt fühlen, durch welche uns ein gestochener und in der Empfindung nachklingender Punkt der Fingerspitze bewegt erscheint. Und nicht bloss die Bewegung der Spitze, sondern die der gesammten Sonde in ihrer ganzen Ausdehnung nehmen wir wahr. Dieses Beispiel zeigt, wie wir aus einigen sensitiven Merkmalen unter Zuhülfenahme von Erinnerungsbildern seitens des Tast- und Gesichtssinnes uns eine optische Lagewahrnehmung eines äusseren Objectes construiren, welche kaum hinter derjenigen von lebendigen Gliedern zurückbleibt. Wir dürfen vermuthen, dass bei letzteren der Vorgang ein ähnlicher ist. Denn wir nehmen die Lage des

fremden Körpers in Beziehung zu unserem eigenen wahr und man kann jedes distalere Segment im Verhältniss zum proximalen als einen solchen Fremdkörper betrachten.

Die Vorstellung von der Lage unserer Körpertheile zu einander wird sich in analoger Weise bilden wie von derjenigen der Körpertheile zum äusseren Raum; wir können z. B. nicht die Extremitäten zum Rumpf in irgend eine räumliche Beziehung setzen, ohne sie auf den äusseren Raum überhaupt zu beziehen. Von dem Lageverhältniss unserer Glieder zum Aussenraum aber haben wir Vorstellungen optischer Art. Wenn man z. B. auf einem horizontal ausgebreiteten Bogen Papier ein Zeichen macht und nun bei geschlossenen Augen die Hand über das Papier bald hierhin bald dorthin bewegt, so hat man bezüglich der Lage der Hand zum Zeichen stets ein Gesichtserinnerungsbild: man hat die Vorstellung, wie dieselbe sich bald gerade über dem Zeichen, bald vor, bald hinter demselben befindet, wie sie sich von ihm entfernt und ihm nähert. Ganz ebenso, wenn das Zeichen sich etwa am Rumpf befindet. Lageverhältnisse der Glieder, welche wir fast nie mit den Augen controliren können, erwecken uns sehr fehlerhafte Vorstellungen. Ich meinte z. B. den Oberschenkel nahezu wagerecht nach hinten und den Unterschenkel schräg aufwärts zu halten, während ich in Wirklichkeit den Oberschenkel abwärts und den Unterschenkel noch etwas unter der Horizontalen hielt. Bekannt ist die Täuschung über die Entfernung der hinter dem Rücken gehaltenen Hände oder Ellbogen von einander. Hieraus geht allerdings zunächst nur hervor, dass zutreffende Lagevorstellungen nur unter controlirender Mitwirkung des Gesichtssinnes sich heranbilden können. Dieselbe kann aber in nichts anderem bestehen, als in der Beimischung gewisser optischer Erinnerungsbilder zu gewissen Aggregaten von Gefühlseindrücken, wodurch die Lagevorstellung nothwendig von solcher Natur sein muss, als ob die Glieder von uns angesehen würden. Man kann sich in der That leicht überzeugen, dass unsere Lagevorstellung den Charakter der Perspective hat. Man rufe sich z. B. bei geschlossenen Augen die Haltung der Finger einer Hand wach: deutlich hat man dann den Eindruck, dass der eine Finger etwa den anderen verdeckt, dass von letzterem ein Theil hervorragt, ja die Entfernung der Finger von einander erscheint weniger deutlich und geringer, wenn dieselben sich hinter einander, als wenn sie sich neben einander befinden. Die Lagevorstellung verhält sich so, als ob die Glieder von einem bestimmten Punkt aus, und zwar eben von dem Orte unserer Augen aus, angesehen würden und es ist nahezu unmöglich, sich die Lage eines Körpertheiles so vorzustellen, wie sie von irgend einem anderen Beobachtungspunkt aus erscheinen würde. Wenn man z. B. bei geschlossenen Augen die Hand irgendwie hält, so gewahrt man leicht, dass die erweckte Lagevorstellung hauptsächlich die

dem Auge zugewandte Handfläche zum Gegenstand hat; versucht man nun, sich die Lage der Hand und der einzelnen Finger so vorzustellen, wie sie etwa von der entgegengesetzten Richtung aus gesehen werden müsste, so bemerkt man das Schwierige, ja Unmögliche dieses Strebens. Wäre die Lagevorstellung nicht optischer Art, so müsste das Verhältniss der einzelnen Theile der Hand zu einander und zum Raume nach allen Richtungen hin mit gleicher Schärfe aufgefasst werden und nicht diese besondere Beziehung zur Blickrichtung haben.

Werden durch eine passende Versuchsanordnung die Merkmale, welche zur Hervorrufung einer optischen Lagevorstellung nöthig sind, vermindert, so entstehen leicht Täuschungen; aber um so klarer geht die Beziehung der ersteren zum optischen Vorstellungsbilde und diejenige des letzteren zur Lagevorstellung überhaupt hervor. Eine derartige lehrreiche Anordnung ist z. B. folgende: man fasst eine quadratische Metall(Blei-)Platte an irgend einem von der Mitte etwas entfernter liegenden Punkte zwischen zwei Finger und lässt sie vom Gehülfen langsam drehen, bei geschlossenen Augen. Hierbei hat man eine leidlich zutreffende Vorstellung von der Lage der Scheibe, für welche die Merkmale durch das Gefühl der Verschiebung an der Haut sowie durch den in Folge der Fortbewegung des Schwerpunktes gesetzten wechselnden Zug der Schwere gebildet werden. Wenn jetzt nun diese Merkmale dadurch vermindert werden, dass man die Scheibe im Schwerpunkt selbst fasst, sodass die Schwere derselben rings um den Angriffspunkt gleichmässig vertheilt ist, so entstehen vielfach Täuschungen über die Lage der Scheibe. Der Vorgang spielt sich dabei so ab, dass man während der vom Gehülfen bewirkten Drehung eine bestimmte Seite der quadratischen Scheibe in Gedanken verfolgt und auch bei der Beschreibung der Scheibenlage die Richtung dieser Seite zunächst angiebt, während man die Richtung der anderen Seiten und somit die Lage der gesammten Scheibe erst durch eine Art von Ueberlegung, welche sich auf eine Combination optischer Vorstellungen stützt, ermittelt. Die sensitiven Merkmale, auf welche sich die Vorstellung stützt, reduciren sich hierbei fast lediglich auf das Geschäft der Drehung der Scheibe an den dieselbe haltenden Hautstellen. Ist die Anfangslage durch Controle von Seiten des Gesichtssinnes bekannt, so wird dadurch, dass die Geschwindigkeit der Drehung mittels der Hautnerven gefühlt wird, die Möglichkeit gegeben, dass sich folgweise Gesichtsvorstellungen mit einer entsprechenden Geschwindigkeit abrollen, unter welcher die Vorstellung einer bestimmten, besonders in's Auge gefassten Seite praevalirt. Es kommen jedoch hierbei recht oft Irrthümer vor, sodass eine Vorstellung von der Lage der Scheibe entsteht, welche mit der Wirklichkeit nicht übereinstimmt. Ganz besonders führt es zu Täuschungen, wenn die Scheibe seitens des Gehülfen vor- und eine Strecke weit zurück-

gedreht wird, weil nämlich beim Zurückdrehen im unmittelbaren Anschluss an das Vordrehen die reibende Bewegung an der Haut weniger deutlich gefühlt, oft nur als Stoss oder Anhalten empfunden wird. Die Vorstellung des Zurückdrehens kommt daher unvollkommen oder gar nicht zu Stande und die Folge davon ist, dass die Vorstellung von der schliesslichen Lage der Platte falsch ist. Die Enttäuschung nach Oeffnen der Augen ist zuweilen frappant, ein Zeichen, dass die optische Vorstellung eine lebhafte war. Ueberhaupt führt es sofort zu Irrthümern, wenn das Tastgefühl der berührenden Haut durch sehr schnelles Drehen, durch einen absichtlichen Ruck und dergl. beunruhigt wird, woraus auf das deutlichste hervorgeht, dass die Lagevorstellung in diesem Falle von der Interpretation der Hautsensationen als Indices abhängig ist. Der Zeitsinn spielt bezüglich des folgweisen Ablaufes der optischen Vorstellungen auf Grund der sensitiven Merkmale entschieden eine wichtige Rolle.

In dem eben besprochenen Beispiel gingen die hauptsächlichsten Merkmale für die Auslösung optischer Vorstellungen von der empfindlichen Haut aus. Eine anderweitige Kategorie von Merkmalen erwächst daraus, dass wir die Richtung, in welcher an einem Gliede ein Zug ausgeübt wird, erkennen können. Wir müssen annehmen, dass wir die von differenten Sehnen herstammenden Sehnenempfindungen von einander unterscheiden und dieselben localisiren können. Auf Grund der constanten Verknüpfungen gewisser Sehnenempfindungen mit gewissen Ortsveränderungen der Glieder erwecken erstere die Vorstellung der räumlichen Richtungen, in welchen die entsprechenden Bewegungen verlaufen würden, und damit weiterhin die Vorstellung der entgegengesetzten Richtungen, nach welchen die Zugkraft wirkt. Es ist klar, wie nützlich diese Fähigkeit sein wird. Ist uns die optische Erscheinung eines Objectes bekannt, so wird die Wahrnehmung der Richtung, in welcher es auf die haltenden Finger einen Zug ausübt, dadurch, dass sie auf die Lage des Schwerpunktes schliessen lässt, zugleich fördernd auf die Vorstellung von dem Lageverhältniss des Objectes zur Hand hinwirken. Auch für die Wahrnehmung der Lage der Glieder wird dies Vermögen von Bedeutung sein, denn es befördert die Vorstellung von der Richtung, welche ein distales Segment zum proximalen einnimmt. — Eine weitere Reihe von Merkmalen für die Hervorrufung entsprechender optischer Lagevorstellungen wird vielleicht durch die Empfindungen geliefert, welche durch Vermehrung des Gelenkdrucks entstehen. Der letztere muss um so grösser sein, je mehr die Richtung des Muskelzuges der die Haltung fixirenden Muskeln sich derjenigen der Längsaxen der Knochen nähert. Wenn man bei gestrecktem Unterarm Beuger und Strecker desselben stark anspannt, so hat man eine ziemlich intensive, als „hart" zu bezeichnende Empfindung im Ellbogengelenk, welche auch unangenehm

werden kann. Bei gebeugtem Unterarm ist dieselbe nicht annähernd so intensiv. Ausserdem wird der Gelenkdruck von der Belastung abhängen. Er muss z. B. im Schultergelenk bei erhobenem Arm grösser sein als bei herabhängendem, in den Gelenken des Beins grösser beim Stehen als beim freien Hängen des Beins. Dass derartige Verschiedenheiten in dem Aggregat von Merkmalen für Auslösung von Lagevorstellungen Verwendung finden, kann zur Zeit nicht bewiesen werden, jedoch muss dies als wahrscheinlich hingestellt werden. — Sehr problematisch jedoch erscheint es, ob der Ort der Gelenkflächen, welcher gedrückt wird, für unsere Empfindung von Bedeutung ist. Je nach der Art der Winkelstellung der Segmente muss eine andere Stelle der einen von beiden Gelenkflächen den relativ grössten Druck erleiden. Wären wir im Stande, die gereizten Punkte der Gelenkfläche örtlich zu sondern, so wäre uns damit ein vortreffliches Mittel gegeben, um die Winkelstellung der Segmente wahrzunehmen. Es wäre hierzu nur eine qualitative Differenzirung der Empfindung der verschiedenen Gelenkstellen nothwendig; denn auf Grund dieser würde die Heranbildung eines Gelenkortssinnes dadurch ermöglicht werden, dass als controlirender Sinn der Gesichts- und Tastsinn hinzuträten, welche uns Erfahrungen von der Art verschaffen würden, dass bei Segmentstellungen gewisser Art Gelenkempfindungen gewisser Qualität entstehen. Das Auftreten der letzteren für sich würde dann die Vorstellung gewisser Gelenkstellungen auslösen können. Allein es muss bis jetzt bezweifelt werden, ob jene qualitative Differenzirung wirklich existirt. — Einen gewissen Beitrag zu den Merkmalen der Lagewahrnehmung liefern sicherlich auch die Muskeln selbst, da durch stärkere Contractionszustände Sensationen entstehen. Wie wenig sie aber bei den Extremitäten zu bedeuten haben, geht aus dem Faradisationsversuch hervor, bei welchem die Lagewahrnehmung des Zeigefingers nahezu aufgehoben war. Dagegen scheint bei den Augen- und den inneren Kehlkopfmuskeln die Muskelsensibilität eine hauptsächliche Rolle zu spielen. Andere Argumente, welche gegen die wesentliche Bedeutung der Muskelempfindungen für die Lagevorstellung sprechen, sind: dass Leyden und Andere bei Muskellähmungen, Muskelatrophieen u. s. w. mit aufgehobener elektrischer Contractilität keine merkliche Abnahme der Lagewahrnehmung gefunden haben, — sowie, dass wir ein sehr feines Localisationsvermögen der Muskelsensationen besitzen müssten, wenn wir aus den gleichzeitigen Empfindungen der jeweiligen Contractionsverhältnisse der verschiedenen Muskeln die Lage erkennen sollten. — In Verbindung mit den sensitiven peripherischen Merkmalen wird auch bei der Wahrnehmung der Lage der eigenen Glieder der Zeitsinn fungiren, speciell bei den Veränderungen der Lage, um auf die folgweise Auslösung der optischen Vorstellungsbilder zu wirken.

Es muss nach unserer Darstellung als ein mögliches Ereigniss hingestellt werden, dass Lagewahrnehmungsstörungen dadurch zu Stande kommen, dass, bei intacter Sensibilität, die centrale Verbindung mit dem Centrum der optischen Erinnerungsbilder unterbrochen ist.

Die Erörterung hat mehrfach hervorgehen lassen, dass die Bewegungs-, Schwere- und Widerstandsempfindung ebenso wie die Druckempfindung im Dienste des „Tastens" stehen. Die localisirte Druckempfindung für sich allein ist nicht im Stande uns Vorstellungen von der Form, Oberfläche und Consistenz von äusseren Objecten zu geben; es bedarf hierzu der Mitwirkung der Lagewahrnehmung und Bewegungsempfindung, sowie der sensitiven Merkmale der Schwere- und Widerstandsempfindung. Der „Tastsinn" umfasst in der That alle bisher erörterten Sinnesleistungen. Erwägt man, dass wir die Muskelsensibilität als Mittel der Sinneswahrnehmung so gut wie ganz ausschliessen konnten, so möchte es als sachgemäss erscheinen, den vielfach fälschlicher Weise nur auf die Hautnerven bezogenen Namen „Tastsinn" an Stelle des ungerechtfertigten Namens „Muskelsinn zu setzen.

IV. Ueber die Wahrnehmung activer Bewegungen.

Aus dem über die Bewegungsempfindung und Lagewahrnehmung Mitgetheilten geht bereits hervor, welche Arten von sensitiven Merkmalen bei der activen Bewegung zu Stande kommen werden, nämlich die in den Gelenken entstehende Bewegungsempfindung, die durch die eigene Last der Glieder veranlassten Schwere- und Widerstandsempfindungen, gewisse Hautsensationen und endlich bei stärkerer Muskelcontraction auch Muskelgefühle. Diese Mehrheit von Eindrücken würde für sich schon einen Unterschied zwischen activen und passiven Bewegungen bedingen. Allein von hauptsächlichem Interesse ist die Frage, ob nicht die Auslösung des Innervationsimpulses selbst mit einer eigenthümlichen Empfindung verknüpft sei, welche die Wahrnehmung der activen Bewegung gewissermaassen abgelöst von den peripherischen Veränderungen und Sensationen erscheinen lasse.

Die Frage der Innervationsempfindung greift auch in die Lehre von dem Gefühle der Schwere und des Widerstands sowie von der Lagewahrnehmung hinein und es ist aus den bezüglichen Darstellungen schon hervorgegangen, dass ich die Mitwirkung einer Innervationsempfindung dort nicht angenommen habe. Dieser Standpunkt wird nun hier im Anschluss an die activen Bewegungen näher zu erörtern sein.

Der Umstand, dass wir die zur Erreichung eines gewissen beabsichtigten Erfolges nothwendige Intensität und Vertheilung der Innervationsimpulse willkürlich bemessen können, sowie, dass wir uns der Grösse der

aufgewendeten Kraft bewusst werden und auch eine Erinnerung daran behalten, lässt es als eine folgerichtige Annahme erscheinen, dass der Innervationsimpuls für sich den Inhalt einer einfachen Vorstellung bilde, woran sich dann die weitere Annahme schliesst, dass der Innervationsimpuls durch eine mit ihm verbundene eigenthümliche Empfindung auf die Seele zurückwirke.

Der im Vorhergehenden erbrachte Nachweis, dass die Bewegungsempfindung, das Gefühl von Schwere und Widerstand und die Wahrnehmung der Lage durch sensitive Merkmale, welche von der Peripherie zugeleitet werden, zu Stande kommen, hat zugleich gelehrt, dass die Ausschliessung der etwaigen Innervationsempfindung den betreffenden Sinnesleistungen keinen erheblichen Eintrag that, wohl aber die Ausschliessung bez. Störung der zugeleiteten Eindrücke. Eine besondere Beweiskraft in dieser Richtung kommt nun der Beobachtung zu, dass auch bei der activen Bewegung das Erkennen derselben, ihres Umfanges und ihrer Geschwindigkeit, an die Zuleitung sensitiver Merkmale von der Peripherie her geknüpft ist. Dies wird durch folgenden Versuch bewiesen, welcher schon in der mehrfach erwähnten Arbeit „Ueber den Muskelsinn u. s. w.“ S. 105 berichtet ist. Es wurden nämlich am I. Interphalangealgelenk des linken Zeigefingers, wie vorher für passive Bewegungen, nunmehr für active die eben merklichen Minima der Excursion bestimmt, welche sich als ungefähr von derselben Grösse wie die der passiven herausstellten. Nun wurden diese Prüfungen bei Durchleitung eines starken faradischen Stromes durch das Gelenk wiederholt und hierbei ergab sich, dass das Vermögen zu erkennen, ob die beabsichtigte Bewegung wirklich zur Ausführung gelangte, bedeutend abgeschwächt war. Denn ein merkliches Bewegungsgefühl erfolgte jetzt erst bei einer durchschnittlichen Bewegung von $3 \cdot 09^0$. Da bei Vornahme passiver Bewegungen unter gleichen Versuchsbedingungen die merkliche Grenze durchschnittlich bei $3 \cdot 66^0$ gefunden wurde, so ist die active Bewegung ungefähr in demselben Maasse von der abstumpfenden Einwirkung des Stromes auf die Empfindung betroffen worden wie die passive. Hieraus ist zwar noch nicht zu schliessen, dass es überhaupt keine Innervationsempfindung gebe, wohl aber, dass dieselbe entweder als Grundlage für die Grössenschätzung der Bewegung nicht dienen könne oder dass hierzu nur in Verbindung mit zugeleiteten sensitiven Merkmalen befähigt sei. Da wir aber anderseits gefunden haben, dass bei passiver Bewegung nahezu dieselbe winzige Grösse der Excursion empfunden wird als bei der activen, so ist offenbar das Vorhandensein oder Fehlen der Innervationsempfindung für das Erkennen der Bewegung irrelevant, so dass auch für die active Bewegung in dieser Beziehung die zugeleiteten Empfindungen von alleiniger Bedeutung sind.

Für die Behauptung, dass das merkliche Minimum von Excursion bei passiver und activer Bewegung sich nicht wesentlich von einander unterscheide, liefern einige Versuchsreihen, über welche im folgenden zu berichten ist, die Grundlage. Dieselben wurden am II. und I. Interphalangeal- sowie am Handgelenk angestellt, jedoch in geringerer Anzahl als bei den passiven Bewegungen. Die Anordnung war dieselbe, wie sie dort bei den betreffenden Gelenken getroffen worden war: ruhige und feste Lagerung der proximal vom Gelenk gelegenen Theile unter Anwendung von geeigneten Gypsformen, Befestigung des Fadens über Gummimanschette oder -Hülse, um die Druckempfindung auszuschalten, Aequilibrirung des Gliedtheiles durch ein entsprechendes Gewicht.

Zweites Interphalangealgelenk.

	I (52)		II (7)	
0				
?				
m?				
m	1·09°	48	1·02	100%
m!	2·56°	4		

59 Versuche in zwei Serien. Die Tendenz war, die Bewegungen in so geringer Excursion auszuführen, dass sie nur eben merklich waren. Der Durchschnittswerth der 1. Serie war 1·09°, der 2. Serie 1·02°. Auffallend deutliche Ausschläge kommen nur in der 1. Serie zur Beobachtung, mit dem Mittelwerth 2·56°. Bei den passiven Bewegungen waren die Mittelwerthe der eben merklichen Excursion folgende gewesen: 1·86°, 1·83°, 1·51°, 1·46°, 1·31°, 1·13°. Wegen Fehlens untermerklicher Werthe bei den activen Bewegungen lässt sich ein Schwellenwerth hier nicht bestimmen; da jedoch in der 1. Serie unterhalb 0·76°, in der 2. unterhalb 0·85° nur vereinzelte Werthe, von diesen Grenzen ab aber zahlreiche vorgekommen sind, so dürften dieselben als Schwellenwerthe aufgefasst werden können. Bei der passiven Bewegung hatten sich die Schwellenwerthe: 1·03°, 1·15°, 1·17°, 1·26° 1·44° ergeben. Somit ist also sowohl der Mittel- wie der Schwellenwerth bei den activen Bewegungen kleiner als bei den passiven. Die Bedeutung dieses Unterschiedes wird aber dadurch verringert, dass die Fehlerbreite bei den Versuchen am II. Interphalangealgelenk nicht unerheblich ist. Behufs Vergleichung bei genau gleichen Versuchsbedingungen wurde unmittelbar nach der zweiten activen Serie (1·02°) eine passive vorgenommen, welche den Mittelwerth 1·86° ergab.

Erstes Interphalangealgelenk.

	(26)
0	
?	0·75° 7%
m?	
m	1·27° 85%
m!	2·47° 7%

Erste Serie zu 26, zweite zu 6 Versuchen. Bei der ersteren beträgt der Mittelwerth der eben merklichen Bewegung: 1·27°, der zweifelhaften: 0·75°, der besonders deutlichen: 2·47°. Die zweite Serie ist im Zustande der Ermüdung nach Faradisation des Gelenkes angestellt und ergab als Mittelwerth der eben merklichen Ausschläge (6): 1·61°. Bei den passiven Bewegungen betrugen die Mittelwerthe der eben merklichen Bewegungen 1·02°—1·74° (es handelt sich um die zweite Folge. S. Theil I der Abhandlung.) Der Schwellenwerth in der ersten activen Serie stellt sich auf 0·82°, diejenigen der passiven variirten von 0·72—1·30°. Bei diesem Gelenke also fallen die eben merklichen Werthe der activen Bewegung in den Rahmen derjenigen der passiven, nur dass sie den günstigeren unter den letzteren sich anreihen.

Handgelenk.

	I (44) ↓	II (50) ↑
0		
?		
m?	0·25° 48%	0·25° 16%
m	0·40° 45%	0·47° 78%
m!	0·59° 7%	0·89° 6%

	III (14)[1]				IV (21)			
	↓ *D*	*G*	↑ *D*	*G*	↓ *D*	*G*	↑ *D*	*G*
0	0·13° 1	0·09 1·4			0·16° 1	0·09 1·8		
?								
m?							0·32° 1	0·10 3·2
m	0·57° 7	0·12 4·7	0·59° 4	0·08 7·4	0·41° 11	0·16 2·6	0·49° 8	0·13 3·8
!			1·67° 2	0·09 18·5				

[1] *D* = Dauer in Secunden. *G* = Winkelgeschwindigkeit.

Es wurden vier Versuchsserien ausgeführt mit insgesammt 129 Bewegungen, von welchen bei der dritten und vierten (35 Bewegungen) die Dauer und somit die Geschwindigkeit gemessen wurde. Bezüglich der erhaltenen Werthe, welche aus der Tabelle hervorgehen, ist zu bemerken, dass in der ersten Serie ausschliesslich Abwärts- (Beuge-) Bewegungen, in der zweiten Serie Aufwärts- (Streck-) Bewegungen vorgenommen wurden, in der dritten und vierten Serie dagegen beide Bewegungsrichtungen wechselten, jedoch bezüglich der Berechnung auseinandergehalten wurden. Somit ergeben sich sechs Mittelwerthe der eben merklichen Bewegung: $0{\cdot}40^0$—$0{\cdot}41^0$—$0{\cdot}47^0$—$0{\cdot}49^0$—$0{\cdot}57^0$—$0{\cdot}59^0$, mit welchen die früher erhaltenen Mittelwerthe der passiven Bewegung, welche sich von $0{\cdot}33^0$ bis $0{\cdot}74^0$ erstreckten, zu vergleichen sind. Ermittelt man die Schwellenwerthe der activen Bewegungen in derselben Weise, wie es früher bei den passiven geschah, so ergeben sich folgende:

1. Serie: $0{\cdot}32^0$; von $0{\cdot}40^0$ ab alle Excursionen merklich,
2. Serie: $0{\cdot}28^0$; von $0{\cdot}41^0$ ab alle merklich,
3. Serie: 0.23^0,
4. Serie: $0{\cdot}20^0$; von $0{\cdot}33^0$ ab alle merklich.

Bei den passiven Bewegungen schwankten die Schwellenwerthe von $0{\cdot}26^0$—$0{\cdot}42^0$ und die Grenzwerthe, oberhalb deren sämmtliche Excursionen merklich waren, von 0.33^0—$0{\cdot}59^0$. Somit stimmen auch beim Handgelenk die Werthe bei activen und passiven Bewegungen hinreichend mit einander überein; dem geringen Betrage, um welchen die Schwellenwerthe bei der ersteren Art der Bewegung tiefer herabgehen, kann eine wesentliche Bedeutung nicht eingeräumt werden. Ebenso wenig dem Umstande, dass die activen Bewegungen mit geringerer Geschwindigkeit verlaufen sind, was sich offenbar aus der Schwierigkeit herleitet, schnelle Bewegungen von sehr geringer Excursionsgrösse auszuführen.

Im Uebrigen lehrt die Tabelle, dass bezüglich der beiden entgegengesetzten Richtungen der Beuge- und der Streckbewegung sich das Empfindungsvermögen gleich verhält.

Die Grenzen der Leistungsfähigkeit sind also für das Wahrnehmen von activen Bewegungen nicht weiter gezogen als von passiven, und man kann nur zugeben, dass bezüglich der ersteren die Ergebnisse sich den besten der bei den passiven Bewegungen ermittelten anreihen. Dies spricht durchaus dafür, dass der Sinnesapparat, welchem wir die Perception der passiven Bewegungen verdanken, auch für die activen, und zwar ohne eigenthümliche Vervollkommnung, maassgebend ist. Selbst wenn man daher bezüglich des Faradisationsversuches noch einräumen wollte, dass die Innervationsempfindung vielleicht des Hinzutretens von zugeleiteten Sensationen

bedürfe, um etwas wirken zu können, so muss man jetzt zugeben, dass auch in Verbindung mit diesen ein Wirken der hypothetischen Empfindung nicht ersichtlich ist.

Ein weiteres Argument gegen die Innervationsempfindung erwächst aus der Thatsache, dass es möglich ist, untermerkliche active Bewegungen auszuführen, nämlich dadurch, dass man sich die Vorstellung irgend einer Bewegung mit einem gewissen Grade von Lebhaftigkeit wachruft. Ueber die bezüglichen Versuche habe ich bereits früher berichtet. „Der Zeigefinger wurde wie sonst gelagert, der freie Theil desselben aber, um jede Widerstandsempfindung zu verhindern, nicht suspendirt, sondern nur mit dem Nagelglied auf eine Kautschukampulle gelegt, welche nach Art der Marey'schen, aber von erheblich grösserem Umfange und grösserer Wanddicke gefertigt war. Das aufruhende Nagelglied war, um die Tastempfindung abzustumpfen, mit einer dicken Gummihülse umgeben. Der geringste Eindruck, welchen die Luftkapsel erlitt, veranlasste durch Luftübertragung einen Ausschlag des Schreibers an der rotirenden Kymographiontrommel. Ich versuchte nun, die Vorstellung wachzurufen, dass ich den Zeigefinger im I. Interphalangealgelenk beuge. Hierbei tritt ein Zustand ein, bei welchem man die Empfindung zu haben glaubt, dass der Finger sich bewegt, aber nicht sicher weiss, ob dies wirklich geschieht oder nur in der Vorstellung gelegen ist. Nun hat sich ergeben, dass bei jedem solchen Versuch der Schreiber in der That einen Ausschlag machte, allerdings einen minimalen. So lange die Vorstellung resp. Empfindung nicht diese Lebhaftigkeit erreicht, d. h. so lange ich bestimmt sagen kann, dass der Finger sich ruhig verhält, so lange zeichnet der Schreiber eine gerade Linie. Gab ich nun einen bewussten motorischen Impuls, derart, dass ein zweifelloses merkliches Bewegungsgefühl entstand, so waren die verzeichneten Ausschläge grösser.“ (Ueber den Muskelsinn u. s. w. S. 106.) In eben demselben Sinne spricht die auffallende Erscheinung, dass bei den activen Bewegungen des Handgelenkes eine ganze Anzahl von Excursionen untermerklich blieb, wie die Tabelle zeigt. Nun könnte ja freilich auch die Innervationsempfindung einen Schwellenwerth haben, derart, dass Innervationen unterhalb eines gewissen Betrages von Intensität keine oder eine undeutliche Empfindung geben. Physiologisch wäre diese Concession annehmbar, welche allerdings den principiellen Unterschied zwischen activen und passiven Bewegungen bezüglich des Perceptionsvorganges schon verwischen würde. Aber schwer verständlich ist es, dass die Schwelle der Innervationsempfindung gerade bei einer Excursionsgrenze liegen sollte, bei welcher auch die von der Peripherie her zugeleiteten, durch die peripherischen mechanischen Veränderungen bedingten Sensationen den Schwellenwerth erreichen. Vielmehr sprechen die letztbeschriebenen Versuche dafür,

dass bei der activen Bewegung nur folgende beide Momente auf die Seele wirken: die active hervorgerufene Bewegungsvorstellung und die von der Peripherie zugeleitete Bewegungsempfindung; dass dagegen der zu den motorischen Nerven fliessende Innervationsimpuls unser bewusstes Empfinden ebenso wenig berührt, wie bei Reflexbewegungen, also im Grunde genommen an sich kein Bewusstseinsvorgang ist, sondern zu dem eigentlichen activen Vorgange, der Bewegungsvorstellung, in einem ähnlichen Verhältnisse steht, wie bei Reflexbewegungen zum Reiz. Es ist bekannt, dass diese Auffassung zur Zeit bereits verschiedentlich vertreten wird; die meines Wissens noch nicht hervorgehobene Thatsache der untermerklichen activen Bewegung gewährt derselben eine neue Stütze. Ueber den Vorgang der Bewegung werden wir, mag sie passiv oder activ sein, lediglich durch die zugeleiteten Empfindungen belehrt; fallen letztere mit einer vorher gefassten Bewegungsvorstellung zusammen, so haben wir das Bewusstsein, eine gewollte Bewegung auszuführen; sind sie undeutlich, so befinden wir uns im Zweifel, ob und in welcher Ausdehnung unser Wille zur Ausführung gelangt; fehlen sie ganz, so sind wir uns klar, dass es sich nur um einen Gedanken handelte. Dies ist die natürlichste Uebersetzung jenes obigen Versuchsergebnisses, welches zeigte, dass ein Uebergang besteht von dem blossen Vorstellungsbild der Bewegung durch ein Stadium des Zweifels über eine stattgehabte Willkür-Bewegung bis zum deutlichen Eindruck einer ausgeführten absichtlichen Bewegung, ein Uebergang, welcher durch die wachsende Elongationsgrösse der Gelenkbewegung des peripherischen Gliedtheiles markirt wird.

Dass ein Schwellenwerth einer Innervationsempfindung in dem oben definirten Sinne in Wahrheit nicht existirt, wird nun schliesslich durch folgende Versuchsanordnung bewiesen. Ich liess einen starken faradischen Strom durch die I. Phalanx des Zeigefingers gehen, durch welchen die Sensibilität in den Gelenken und dem gesammten Finger abgestumpft wurde, und wiederholte unter diesen Umständen die obigen Versuche. Wenn ich nun jetzt die Vorstellung des Fingerbewegens in mir hervorrief und mich in jenem Zustande des Zweifels befand, ob wirklich eine Locomotion erfolge oder nicht, so war der vom Schreiber gezeichnete Ausschlag regelmässig grösser als früher bei intacter Sensibilität. Es liegt auf der Hand, dass die Schwelle der Innervationsempfindung durch den peripherischen Strom nicht beeinflusst werden könnte und dass somit die Locomotion, von welcher das active Hervorrufen der Bewegungsvorstellung begleitet ist, nicht durch den motorischen Impuls und eine ihm entsprechende Empfindung, sondern durch die von der Peripherie zugeleiteten sensitiven Merkmale die Bewegungsvorstellung vervollständigt.

Der Umstand, dass mit einer Bewegungsvorstellung von einer gewissen

Lebhaftigkeit eine wirkliche, entsprechende, wenn auch für das Individuum untermerkliche Bewegung vorgeht, dürfte nicht ohne Beziehung zu dem sogenannten „Gedankenlesen“ sein, was hier wohl einer weiteren Ausführung nicht bedarf.

Durch die obige Erörterung wird auch für die active Bewegung der Standpunkt gerechtfertigt, welchen ich schon bei der Empfindung der Schwere und des Widerstandes sowie bei der Lagewahrnehmung eingenommen hatte. Auch dort war aus triftigen Gründen und mit Rücksicht auf gewisse Versuchsergebnisse die Mitwirkung einer Innervationsempfindung ausgeschlossen worden. Wenn wir uns der ertheilten motorischen Impulse nach Intensität und Vertheilung bewusst würden, so dürfte die Lagewahrnehmung des Fingers nicht durch peripherische Faradisation desselben aufgehoben werden können. Denn die Stärke und Vertheilung der Innervationen ist, bei unbelastetem Gliede, für jede Lage eine bestimmte und somit müsste das Aggregat der Innervationsempfindungen uns ein Bild von der jedesmaligen Lage bez. Haltung gewähren. Man könnte nun vielleicht aufstellen wollen, dass die Innervationsempfindung nur Intensitätsabstufungen aufweise, während zu ihrer Localisation allerdings die begleitenden zugeleiteten Empfindungen nothwendig seien. Allein unter diesen Umständen würde die supponirte Innervationsempfindung auch bezüglich der Wahrnehmung activer Bewegungen uns von keinem Nutzen sein. Da nämlich die grosse Zahl der fortwährend thätigen Muskeln uns beständig eine Summe von Innervationsgefühlen zukommen lassen müsste, so würde das Hinzutreten eines neuen, jedoch nicht localisirbaren Innervationsgefühles von uns ebenso auf die schon in Fluss befindlichen, als auf eine neue Bewegung bezogen werden können. Was die Schwereempfindung betrifft, so müsste es, wenn das Bewusstwerden von der Intensität des Innervationsimpulses mitwirkte, gelingen, trotz peripherischer Anaesthesie die Verschiedenheiten des Gewichtes zu erkennen, wenn auch nicht gerade unter der Form der Schwereempfindung. Allein die Versuche haben gelehrt, dass dies nicht der Fall ist.[1]

[1] Auf eine Erscheinung, welche gleichfalls gegen das Bestehen einer Innervationsempfindung spricht, möchte ich hier noch hinweisen. Wenn man irgend ein Glied auf einer Vorrichtung ruhen lässt, welche in irgend einer Weise den von demselben ausgeübten Druck anzeigt, wie etwa auf dem Teller einer Federwage oder auf einer gewöhnlichen Wagschale, welche man aequilibrirt, und sich vornimmt, das Glied völlig seiner Schwere zu überlassen, so zeigt sich, obwohl man von Anfang an diese Vorstellung hat, dass dasselbe allmählich tiefer sinkt. Hieraus geht hervor, dass wir eine sehr unsichere Vorstellung über das Maass der von uns aufgewendeten Innervation haben. Eben dahin gehört auch eine Beobachtung Delboeuf's (citirt bei H. E. Müller und Schumann, *Ueber die psychologischen Grundlagen der Vergleichung gehobener Gewichte*, S. 63). Derselbe forderte eine zuverlässige Person auf, mehrere Male mit

Wenn demnach der fraglichen Innervationsempfindung eine Bedeutung für den Vorgang der Sinneswahrnehmung nicht zugeschrieben werden kann, so ist nun eine andere Frage, wie wir uns mit denjenigen Erscheinungen, welche zur Annahme einer Innervationsempfindung als einem Bedürfnisse geführt hatten (vgl. S. 207), abfinden. Dieselben bestanden darin, dass wir die zur Erreichung eines gewissen beabsichtigten Erfolges nothwendige Intensität und Vertheilung der Innervationsimpulse willkürlich bemessen können, dass wir uns der Grösse der aufgewendeten Kraft bewusst werden und eine Erinnerung von derselben behalten.

Wir waren vorher zu dem Ergebniss gelangt, dass die Vorstellung des activen Bewegens dadurch zu Stande komme, dass eine von der Peripherie zugeleitete Bewegungsempfindung einer vorher gefassten Bewegungsvorstellung entspricht. Die mittels peripherischer Sinnesorgane percipirte Bewegung wird in unserer Vorstellung als Ausfluss unseres Willens gedeutet. Es ist in völliger Uebereinstimmung mit dieser Anschauung, wenn ich jetzt annehme, dass auch die übrigen bei der Ausführung willkürlicher Bewegungen uns von der Peripherie her zugehenden Empfindungen, insoweit sie die vorher gefasste Bewegungsvorstellung angehen, von uns als Attribute unserer Willensthätigkeit, als besondere Qualitäten unserer Bewegungsvorstellung aufgefasst werden. Indem also in die primäre Vorstellung einer intendirten Bewegung Bewegungsempfindungen von einer gewissen Intensität, Schwere- und Widerstandsempfindungen von einer gewissen Intensität einschneiden, wird die Vorstellung, dass diese Empfindungen die Folge einer willkürlichen Handlung sind, dahin erweitert, dass letztere als ein Kraftaufwand von einer gewissen entsprechenden Stärke gedeutet wird. Eine Beziehung zwischen der Intensität jener zugeleiteten Empfindungen und derjenigen der motorischen Impulse muss nothwendig bestehen. Ein schwereres Gewicht wird gleichzeitig eine stärkere Schwereempfindung und eine stärkere Innervation behufs Ueberwindung desselben veranlassen. Dadurch ist also die Möglichkeit gegeben, dass diese Empfindungen bezüglich ihrer Intensität für uns zu Merkmalen der aufgewendeten Energie werden: dies genügt aber gemäss der in der Einleitung ausgeführten Anschauung psychologisch vollkommen, den Bewusstseinsprocess anzuregen, dessen Inhalt die Vorstellung von der aufgewendeten Kraft ist. Die Verknüpfung von Empfindung und Impuls in gewissen Maassverhältnissen wird nun weiter auch in die Erinnerung aufgenommen werden

---

Aufbietung aller Kräfte auf ein Dynamometer zu drücken. Es ergaben sich der Reihe nach folgende Zahlen: 72, 77, 77, 57, 67, 56, 53, 60, 58, 55, 54, 52, 50, 45, 43. Dabei glaubte aber die Versuchsperson immer dieselbe Kraft aufgewandt zu haben und war überrascht, als z. B. die Zahl von 77 auf 57 fiel.

können und die Folge hiervon wird sein, dass das Erinnerungsbild von Empfindungen gewisser Intensität motorische Impulse von gewisser Intensität anregen wird. Jenes Erinnerungsbild aber wird wieder durch andere associirte Eindrücke, wie z. B. durch die optische Erscheinung des betreffenden Objectes, hervorgerufen werden können. Im Grunde genommen spielt die Maassbeziehung zwischen Empfindung und Impuls bei jedem Gewichtheben sich ab: ist nämlich ein Gewicht erhoben worden, so bedarf es, um dasselbe erhoben zu halten, fortwährend neuer Impulse von einer gewissen Intensität; die Bemessung der letzteren aber regelt sich offenbar nach der Stärke der zugegangenen und noch zugehenden Schwere- sowie Widerstandsempfindung. Mit der vorgetragenen Anschauung deckt sich die alltägliche Erfahrung: wenn wir ein uns bekanntes Object sehen, so sind wir im Stande, ohne weiteres Probiren sofort die zum Abheben erforderliche Innervationsenergie auszulösen; aber man kann doch nicht sagen, dass wir dabei eine Vorstellung haben, deren Inhalt das Maass von Innervationsstärke ist. Ganz ähnlich verhält es sich bei der „gewählten" Coordination (vgl. Ueber den Muskelsinn u. s. w. S. 84). Wenn sich ein Glied in einer gewissen Haltung befindet, so gehen uns gewisse Merkmale der Lagewahrnehmung zu. Die active Veränderung der Haltung ist mit gewissen sensitiven Merkmalen verknüpft und zugleich der Ausdruck einer gewissen Muskelwirkung. Somit sind wieder die Bedingungen zur Entwickelung gewisser Beziehungen zwischen Empfindungen und Vertheilung von Impulsen gegeben, und indem jene Empfindungen Lage- und Bewegungsvorstellungen anregen, wird es zur Entwickelung von Beziehungen zwischen derartigen Vorstellungen und der ihrer Realisirung entsprechenden Anordnung von Innervationsimpulsen kommen. Unsere, die Vertheilung und Folge der Innervationen bestimmende Thätigkeit wird daher auch hier wieder vor sich gehen können ohne dass wir einer Vorstellung bedürfen, welche das Maass der Innervationen selbst zum Inhalt hat.

Es hat sich also gezeigt, dass ein Bedürfniss zur Annahme einer Innervationsempfindung nicht vorliegt. Somit giebt es kein einziges Moment, welches für das Bestehen der letzteren spricht, wohl aber mehrere, welche demselben geradezu entgegenstehen. Was die Innervationsempfindung leisten sollte, spielt sich in folgender Weise ab: Eine Bewegungsvorstellung taucht in uns auf und wirkt durch einen eigenthümlichen Vorgang, welcher den Willensprocess ausmacht, auf das motorische Feld; es geschehen centrifugale Erregungen, welche sich durchaus unserer Wahrnehmung entziehen und welche peripherische Locomotionen herbeiführen. Von letzteren gehen uns Sensationen zu, welche uns den Eindruck des Bewegtwerdens sowie nach einem erlernten Zusammenhange optische Vorstellungen über die Lageveränderung erwecken. Die Uebereinstimmung dieser mit der anfangs gefassten

Bewegungsvorstellung veranlasst in uns die weitere Vorstellung, dass die Bewegung durch unseren eigenen Willen gesetzt worden ist. Stimmen die beiden Vorstellungen nicht überein, so haben wir den Eindruck, dass der betreffende Körpertheil von einer unwillkürlichen Bewegung ergriffen worden ist. Wenn Jemand z. B. eine Bewegung in einer bestimmten Richtung ausführen will und in Folge einer Störung von gewissen Muskelsynergieen in eine falsche Richtung verfällt, so glaubt er, dass eine unwillkürliche Bewegungsabweichung stattgefunden hat, während doch die Bewegung vollkommen willkürlich ist, nur dass die erzeugte nicht der vorgestellten Bewegung entspricht.

Unterscheidet sich nun die active Bewegung, wenn nicht durch die Innervationsempfindung, so vielleicht durch anderweitige sensitive Merkmale von der passiven? Schon Eingangs wurde in dieser Beziehung hervorgehoben, dass wir in Folge der zu überwindenden Last der Glieder Schwere- und Widerstandsempfindungen sowie bei stärkeren Muskelcontractionen auch Muskelgefühle zu erwarten haben werden, welche bei passiven Bewegungen fehlen; ausserdem werden die activen Bewegungen vielfach von stärkeren und ausgebreiteteren Hautsensationen begleitet werden als die passiven, weil der Sehnenzug, namentlich dort, wo die Sehnen in engerer Verbindung mit Fascien stehen, sich auf die bedeckenden Weichtheile miterstrecken wird. Von wesentlicher Bedeutung scheint mir nun unter diesen Empfindungen diejenige der Schwere, d. h. die durch die Sehnenspannung hervorgerufene Sensation zu sein. Wenn wir auch für gewöhnlich nicht die Empfindung von Schwere bei Bewegung der unbelasteten Glieder zu haben meinen, so geht doch aus gewissen Versuchsanordnungen, welche erörtert worden sind, zweifellos hervor, dass wir eben fortwährend bei activen Bewegungen Schwereempfindungen haben, welche wir nur wegen ihrer regelmässigen Verknüpfung mit Bewegungsempfindungen nicht als solche aus dem Totaleindruck herauszusondern pflegen. Die Sehnenspannungsempfindung gewährt nun für die Wahrnehmung der activen Bewegung einen doppelten Vortheil: durch das Vermögen diese Empfindung zu localisiren erwächst uns ein Merkmal für die Richtung, nach welcher die Bewegung stattfindet, und durch den mechanischen Umstand, dass das Glied dem Muskelzuge erst dann Folge leisten kann, wenn die Sehnenspannung einen gewissen Grad erreicht hat, erhalten wir eine Andeutung von der Richtung der beabsichtigten Bewegung, noch ehe dieselbe zur wirklichen Ausführung gelangt. Denn die Sehnenspannung und damit die Empfindung muss schon vorhanden und merklich sein, wenn das Bewegungsgefühl erst seinen Anfang nimmt. Es scheint mir, dass dieses Verhältniss für uns einen erheblichen Vortheil mit sich bringt und bei mechanischen Verrichtungen eine wesentliche Rolle spielt. Schon ehe die beabsichtigte

Bewegung zur That geworden ist, geht uns von der Peripherie her ein Gefühl von der Richtung zu, welche dieselbe einzuschlagen im Begriff ist, und wir können somit diese Richtung bezüglich ihrer Uebereinstimmung mit der vorgestellten Richtung controliren und eventuell corrigiren. Wir werden dadurch viele fehlerhafte Bewegungen vermeiden können, welche nothwendig eintreten müssten, wenn die Abweichung der ausgeführten Bewegung von der vorgestellten erst während der Bewegung selbst erkannt werden könnte. Indem wir die Richtung der noch zukünftigen Bewegung aus der bewegungsbereiten Gliedhaltung zu erkennen vermögen, erhalten wir eine wesentlich erhöhte Sicherheit, unsere Bewegungen zu berechnen und zu dirigiren.

Wie uns die Schwere-, Widerstands- und Bewegungsempfindung bezüglich ihrer Intensität zum Ausdruck der von uns aufgewendeten Kraftleistung wurde, so wird es jetzt die Schwereempfindung bezüglich ihrer Localisation zum Ausdruck der beabsichtigten Direction. Indem die Vorstellung über eine gewisse Bewegungsrichtung gefolgt wird von Empfindungen, welche das Einschlagen einer entsprechenden Richtung andeuten, wird in uns die weitere Vorstellung geweckt, dass diese Richtung ein Product unseres Willens ist. So kommt es, dass wir unseren Willen gleichsam in das Glied localisiren: der Finger selbst scheint uns dem Finger seinen Weg zu weisen.

Das die active Bewegung begleitende Schwere-(Sehnenspannungs)Gefühl ist vielleicht die Ursache dafür, dass die Werthe der eben merklichen Excursionen etwas kleiner als bei der passiven Bewegung, oder doch sich in den Grenzen der kleinsten dortigen Werthe haltend gefunden wurden. Möglicher Weise ist diese Empfindung sogar im Stande, für sich allein unter gewissen Umständen die Vorstellung einer Bewegung anzuregen, was ich mit Rücksicht auf gewisse von Exner und Sternberg mitgetheilte Bewegungstäuschungen (vgl. „Ueber den Muskelsinn u. s. w.“ S. 107) bemerke. Am leichtesten wird dies geschehen, wenn gleichzeitig von einem benachbarten Gelenke her eine Bewegungsempfindung uns zugeht. Wir werden also z. B., wenn in einem proximalen Gelenk eine Bewegung abläuft und gleichzeitig in einem distalen Segment durch Sehnenspannungsempfindung die Vorstellung einer bestimmten Richtung angeregt wird, leicht diese letztere zur Vorstellung einer Bewegung des betreffenden distalen Gliedes vervollständigen. Bei den gewöhnlich mehrgliederigen Verrichtungen, z. B. dem Schreiben, werden daher einfache Sehnenspannungen uns die Vorstellung von Ablenkungen der Bewegung nach dieser und jener Richtung erwecken.

In dem Abschnitt, welcher über die Bewegungsempfindung handelte, habe ich gezeigt, dass den sensiblen Muskelnerven eine wesentliche Mit-

wirkung nicht zuerkannt werden kann. Man könnte nun noch fragen, wie es sich hiermit bei der activen Bewegung verhalte. In dieser Beziehung muss ich auf die Arbeit „Ueber den Muskelsinn u. s. w." verweisen, in welcher ich (S. 110 flg.) durch Versuche nachgewiesen habe, dass den sensiblen Muskelnerven allerdings eine Empfindung eigener Qualität zukommt, dass diese aber erst bei stärkeren Contractionen auftritt, und nicht die Vorstellung einer Bewegung auslöst. Ich war daher berechtigt, wie ich es oben gethan habe, das Muskelgefühl auch bei activen Bewegungen nur gelegentlich stärkerer Contractionen heranzuziehen. Die unter diesen Umständen entstehende diffuse, in der Gegend des Muskels selbst localisirte spannende Empfindung dürfte sich denjenigen Sensationen beigesellen, welche in uns die Vorstellung einer von uns aufgewendeten Kraft anregen und, in diesem besonderen Falle, verstärken.

Beiträge zur Kenntniss der Schilddrüse.

Von

O. Langendorff
in Königsberg.

(Aus dem physiologischen Institut in Königsberg.)

(Hierzu Taf. V.)

Es ist nicht meine Absicht, hier eine monographische Darstellung der Schilddrüsenstructur zu geben. Dazu wären vor Allem meine Untersuchungen, die ich auf nur wenige Thierarten beschränken musste, nicht zureichend. Zudem besitzen wir aus neuerer Zeit in den Arbeiten von Boéchat (1), Poincaré (2), Zeiss (3), Baber (4), Wölfler (5) so eingehende und zum Theil die verschiedenen Thierklassen in so ausgiebiger Weise berücksichtigende Darstellungen, dass ein ähnliches Unternehmen ganz überflüssig wäre. Ich werde auf die trefflichen Untersuchungen einiger der genannten Forscher mehrfach zurückzukommen haben; ich möchte aber erwähnen, dass ich nicht überall, wo meine Befunde den ihrigen oder denen anderer Untersucher gleichen oder widersprechen, dies besonders hervorgehoben habe. Meine Darstellung gründet sich lediglich auf das Ergebniss der eigenen Untersuchung. Während ich in der Arbeit begriffen war, kam mir ein Bericht über einen Vortrag in die Hand, den Biondi (6) im Jahre 1888 in der Berliner medicinischen Gesellschaft über die Schilddrüse gehalten hat. Ich freue mich, mit dem genannten Forscher in mehreren Punkten übereinzustimmen und ich muss auch bemerken, dass ich meine Befunde über die mir bis dahin unklar gebliebene Art der Communication der Follicularräume mit den Colloidmassen enthaltenden Lymphräumen erst im Anschluss an seine darauf bezüglichen Angaben erhoben habe.

Die Schilddrüse besteht bekanntlich aus einem Aggregat von schlauch- und beerenförmigen Gebilden, die von einer gemeinsamen bindegewebigen Kapsel umschlossen, durch Bindegewebszüge von einander einerseits geschieden, andererseits wieder zu Lappen und Läppchen vereinigt werden. Im interfolliculären Stroma verlaufen die grösseren Blutgefässe und Nerven, liegen die Lymphräume.

Die Drüsenbläschen werden von einer einfachen Epithelschicht gebildet; ihr Binnenraum ist von einer bald mehr bald weniger zähflüssigen Substanz, dem Colloid, erfüllt. Obwohl auch Zerzupfung und Isolation Mancherlei über die Natur der Formelemente der Drüsen lehren, so ist ein eingehendes Studium an der Hand von Schnittpraeparaten für die nähere Kenntnissnahme unerlässlich.

Ich schicke der Darstellung meiner Befunde deshalb eine kurze Bemerkung über die vorbereitenden Methoden voraus, und will, bevor ich auf sie eingehe, nur noch bemerken, dass die meisten meiner Erfahrungen an den Schilddrüsen frisch geschlachteter Kälber und junger Hunde gewonnen worden sind; denn für die Beurtheilung rein physiologischer Verhältnisse erwiesen sich die Drüsen der jugendlicheren Thiere am günstigsten. Daneben wurde auch die Thyreoidea des Meerschweinchens, des Kaninchens, der Katze, sowie die älterer Hunde benutzt.

Untersuchungsmethode.

Von den verschiedenen Fixationsmitteln wurden angewandt: Chromsäure von 0·2 Procent, Pikrinsäure in gesättigter wässeriger Lösung, Müller'sche Flüssigkeit, Sublimat in concentrirter Lösung mit und ohne Chlornatrium, Chromosmiumessigsäuremischungen in verschiedener Stärke. Von allen diesen Mitteln leistet allein das Osmiumgemisch Befriedigendes. Zwar erhält die Sublimatlösung die Kernstructur in trefflicher Weise, doch bewahrt sie den Zellenleib nicht vor Schrumpfung. Aus Gründen, die später ersichtlich werden sollen, lag mir besonders daran, die sogenannte Colloidsubstanz möglichst in denjenigen Volumverhältnissen zu conserviren, die dem frischen Zustand entsprechen. Ich halte alle die Bilder, bei denen eine Retraction der Colloidmassen vom Epithel vorhanden ist, die bekannten sternförmigen Figuren, die vielbesprochenen Randvacuolen — für Kunstproducte. Ein gutes Fixationsmittel zeigt den gesammten Follicularraum mit einer gleichmässigen durchscheinenden, selten sehr feinkörnigen Masse erfüllt, die nirgend vom Epithel sich abhebt. Diesen Anspruch befriedigen allein passende Osmiumgemische, und zwar solche mit nicht allzugeringem Gehalt an Osmiumsäure. Die sonst sehr brauchbare Fol'sche Lösung war

deshalb für meinen Zweck weniger tauglich. Am günstigsten schien mir ein Gemisch von folgender Zusammensetzung: Chromsäure (1 Procent) 25 ccm. Osmiumsäure (1 Procent) 10 ccm, Eisessig 1·5 ccm.

In dieser Lösung verbleiben die kleinen Stückchen der Drüsensubstanz 1—3 Stunden; dann kommen sie auf 24 Stunden in oft gewechseltes destillirtes Wasser, aus ihm in allmählich verstärkten Alkohol (70, 90, 96 Procent). Die entwässerten Stücke werden alsdann auf 1—2 Stunden in Xylol gebracht, aus ihm in eine gesättigte Xylollösung von Paraffin (diese letztere Procedur wurde oft ohne Schaden fortgelassen), dann auf $^1/_2$ bis höchstens 2 Stunden in bei 50° geschmolzen erhaltenes Paraffin. Schneiden mit dem Schanze'schen Mikrotom (Schnittdicke 5 bis 10 μ); Paraffin mit Xylol entfernt; dann 96-proc. Alkohol und Färbung. Zur Färbung dienten: Carmin, Pikrocarmin, welches letzteres bekanntlich sehr instructive Bilder giebt, besonders wenn man nach dem Verfahren von E. Neumann mit salzsaurem Glycerin nachbehandelt. Von Haemotoxylinlösungen gelangte anfangs neben dem Heidenhain'schen Verfahren zur Anwendung die nach der Formel von C. Friedländer hergestellte; später ausschliesslich das essigsaure Gemisch von Ehrlich — eine Farbflüssigkeit, die kein Mikroskopiker mehr gern entbehren wird, wenn er einmal ihre Tugenden (Schnelligkeit der Färbung, Haltbarkeit derselben, Unmöglichkeit der Ueberfärbung, prachtvolle Differenzirung) kennen gelernt hat. Sehr passend verbindet man mit der Haematoxylinfärbung die Tinction mit Eosin; doch schien es mir besser, die schon mit Haemotoxylin gefärbten Schnitte mit schwachen Eosinlösungen zu behandeln, als mich eines Gemisches beider Farbstoffe zu bedienen. Sublimatpraeparate wurden in der Mischung allerdings schön tingirt; die aus dem Osmiumgemisch stammenden Praeparate zeigten aber eine zu starke und zu wenig differenzirte Röthung.

Sehr lehrreich war oft die bald länger dauernde, bald kürzere Anwendung sehr dünner Säurefuchsinlösungen; auch Saffranin, Methylenblau, wässeriges Anilinblau u. a. m. gelangte zur Anwendung. Hübsche Bilder gab endlich das Ehrlich'sche Dreifarbengemisch (Orange, Säurefuchsin, Methylgrün) in der von Biondi angegebenen, jüngst von Heidenhain mit so grossem Erfolge verwendeten Modification.[1] Freilich sind die an Sublimatpraeparaten damit erhaltenen Färbungen viel prächtiger, wie die der Osmiumschnitte.

Die Follikel.

Die Gestalt der die Drüse zusammensetzenden Bläschen oder Follikel kann genauer natürlich nur an Isolationspraeparaten studirt werden; doch

[1] Von Grübler in Lösung und in Pulverform bezogen.

lehren auch Schnitte, die in verschiedener Richtung angelegt sind, mancherlei. Zur Isolation verwendete ich nach dem Vorgang von Wölfler starke Salzsäure. Mindestens ebenso gute Dienste leistete mir eine gesättigte Lösung von chlorsaurem Kali mit Salpetersäurezusatz. In ihr werden kleine Stückchen gekocht und dann im Wasser zerschüttelt.

Bei weitem die grösste Zahl der Follikel ist kugelförmig oder strebt der Kugelgestalt zu. Das gilt besonders für das Kalb, für Katze und Kaninchen; unregelmässiger ist die Gestalt beim Meerschweinchen, noch mehr beim Hunde. Bei letzteren sieht man nicht nur polyedrische Formen, sondern, wie das ja vielfach hervorgehoben worden ist, auch langgestreckte Schläuche, die sich verzweigen können; ferner Follikel mit sinuöser Begrenzung, Lappenbildungen und anderen Formen. Auch in der Drüse des Kalbes fehlen solche nicht. Insbesondere sieht man hier zuweilen Faltungen, Wölfler's „papilläre, einander zustrebende Epithelzapfen", die offenbar auf Wachsthumsvorgänge hindeuten.

Die Grösse der Follikel ist eine sehr wechselnde. Schon bei ganz jungen Thieren finden sich solche von sehr beträchtlicher Ausdehnung neben mittelgrossen, kleinen und ganz kleinen. Der Lumenquerschnitt der letzteren ist zuweilen nicht grösser wie in den Acini einer Parotis.

Fliessen in späterer Lebenszeit mehrere Follikel durch theilweises Schwinden ihrer Wandung zusammen, so kann es zur Entstehung ziemlich beträchtlicher Follikelräume kommen. Solche als pathologisch zu bezeichnen, ist man nicht berechtigt.

Eine Membrana propria vermochte ich nicht nachzuweisen; sie wird ersetzt durch oft sehr zarte Zweige von fibrillärem Bindegewebe, denen aussen das Endothel der Lymphräume anliegt. Doch fand ich (beim Kalb) auch Anhäufungen von Follikeln, deren einander zugewendete Epithelseiten keinerlei scheidende Zwischenwand erkennen liessen. Ein solches „Nest" kann aus 2 bis 4 und mehr Follikeln gebildet werden, die eine gemeinschaftliche Bindegewebshülle umgiebt.

Zuweilen überragt eines der zu einer kleinen Gruppe zusammengefassten Drüsenbläschen die übrigen erheblich an Grösse. Die kleineren oder der kleine an den grossen sich dicht anlegende Follikel macht dann den Eindruck einer knospenartigen Bildung.

Die Colloidmassen der Follikel.

Es kann nicht zweifelhaft sein, dass der Inhalt der Drüsenbläschen deren Lumen vollständig erfüllt. Wird er durch chemische Eingriffe fest, so wird je nach der Art des Eingriffes die Substanz ihr früheres Volumen bewahren oder ändern können. Geschieht das Festwerden in Folge von

Wasserentziehung oder Hitze, so werden erhebliche Schrumpfungen nicht ausbleiben können. Die besten Fixationsmittel sind immer diejenigen, die Eiweisskörper und eiweissreiche Mischungen ohne Formveränderung coaguliren. Leistet ein Mittel das für den protoplasmatischen Zellleib, so wird es voraussichtlich auch für die schrumpfungslose Coagulirung des Colloids zu brauchen sein. Der Osmiumsäure und ihren Mischungen kommt demgemäss eine hervorragende Bedeutung für die Fixation des Schilddrüsengewebes zu; ja sie sind, so viel ich sehe, die einzigen hier mit Vortheil zu verwendenden Reagentien. Verwendet man ein Osmiumgemisch, so sieht man, falls die Nachbehandlung mit Alkohol in vorsichtiger Weise geübt worden ist, in den Schnitten die Colloidmasse dem Follikelepithel dicht anliegen — im Gegensatz zu den Schrumpfungsfiguren, Vacuolen u. s. w., die nach anderer Behandlungsweise auftreten. Auch diese Schrumpfungsfiguren sind oft lehrreich. Hat sich nämlich die Hauptmasse retrahirt und hängt sie nur durch gröbere oder feinere Fäden mit dem Epithelbelag zusammen — eine Erscheinung, die Jedem aus den üblichen Abbildungen bekannt ist —, so sieht man die Fäden meist im Zusammenhang mit der Kittsubstanz der Epithelien bleiben, oder, falls breitere Zusammenhänge bestehen, die Colloidmasse gerade dort das Epithel nahe berühren, wo sich die später zu beschreibenden „Colloidzellen“ finden. Durch kurzdauernde Säurefuchsinbehandlung, durch welche sich fast ausschliesslich Colloid, Epithelkitt und Bindegewebe färben, tritt dieses Verhältniss deutlich hervor.

Ein weiterer Erfolg der Osmiumbehandlung ist der, dass die geronnenen Massen fast immer ein durchaus homogenes Aussehen zeigen. Unter anderen Bedingungen sieht man das Colloid viel häufiger feinkörnig erscheinen.

Mikrochemische Reactionen der Colloidsubstanz.

Diese Reactionen wurden angestellt an Drüsen vom Kalb und vom Kaninchen, die in Alkohol gehärtet waren. Essigsäure lässt den Follikelinhalt enorm aufquellen; die Masse wird dabei so durchsichtig, dass es schwer wird, sie wahrzunehmen. Durch Auswaschen mit 0·6-procentiger Kochsalzlösung kann man ihr früheres Aussehen wiederherstellen. Auch in Salzsäure von 0·2 Procent tritt starkes Aufquellen ein.

Zusatz von 33-procentiger Kalilauge oder von starker Natronlauge wirkt ebenfalls, doch weit weniger, quellend; Hinzufügung von Wasser macht jetzt schnellen Zerfall. Nur das bindegewebige Gerüst der Drüse bleibt länger übrig. Zehnprocentige Kalilauge macht die Colloidmasse undeutlich und lässt sie bald zerfliessen.

Schwache Quellung bewirkt einprocentige Sodalösung.

Starke Salpetersäure macht die Masse etwas schrumpfen; nach wenigen Minuten entsteht Gelbfärbung schon in der Kälte. Diese Reaction (Xanthoproteïnprobe) tritt bei leichtem Erwärmen fast momentan ein. Zusatz von Ammoniak macht den hellgelben Farbenton satter und mehr orange.

Mit Pepsin versetzte 0·2 procentige Salzsäure löst die Colloidmasse in kurzer Zeit.

Zur Anstellung der Biuretprobe wird eine Flüssigkeit verwendet, die in starker Kalilauge gelöstes Kupfersulfat enthält, und der zur Erzielung einer dauernd haltbaren Lösung einige Tropfen Glycerin hinzugefügt sind. Im Brütofen (bei 40° C.) zeigt ein in diese Flüssigkeit gebrachter Schnitt nach 10—15 Minuten eine kräftige Violetfärbung des Colloids.

Ebenso giebt die Masse die Millon'sche Probe. Hier muss indess der Schnitt mehrere Stunden bei Brutwärme in dem Reagens verweilen.

Die Eiweissreaction von Adamkiewicz kann in folgender Weise leicht angestellt werden. Der Schnitt wird unter dem Deckglas bis zur starken Quellung mit Essigsäure behandelt. Dann wird die überschüssige Säure abgesaugt und durch Schwefelsäure ersetzt. Die Violetfärbung der colloiden Massen tritt sehr bald und ohne Zerstörung derselben ein.

Durch kochendes Wasser wird die Colloidmasse nicht gelöst. Wenn man frische Drüsenstückchen in siedendes Wasser bringt, so gerinnt vielmehr der colloide Inhalt der Follikel, wie man sehen kann, wenn man die jetzt eine feste Consistenz und eine sehr elastische Beschaffenheit zeigenden Stücke in mikroskopische Schnitte zerlegt.

Dass die üblichen Fixations- und Härtungsmittel die Colloidsubstanz zum Gerinnen bringen, ist genugsam bekannt. Diese Mittel sind, ausser dem Alkohol, anorganische Säuren oder Metallsalzlösungen; dazu gesellt sich die Pikrinsäure. Es sind das alles Körper, deren eiweisscoagulirende Eigenschaft allgemein bekannt ist. Hält man ihre Wirkung auf die Colloidsubstanz zusammen mit den oben mitgetheilten Reactionen, so erscheint der Schluss berechtigt, dass die Colloidmasse entweder aus Eiweiss besteht oder doch einen hohen Eiweissgehalt besitzt.

Mucin ist, wie schon aus ihrem Verhalten zur Essigsäure hervorgeht, in ihr nicht vorhanden. Bezüglich der Natur des einzig oder vorwiegend vorhandenen Eiweissstoffes lässt sich soviel sagen, dass derselbe schwerlich ein Alkalialbuminat ist, wie Manche angenommen haben. Dagegen spricht nämlich die coagulirende Wirkung der Erhitzung. Handelt es sich indessen, wie Virchow vermuthet hat, um ein durch reichlichen Kochsalzgehalt modificirtes Alkalieiweiss, so wäre diese Reaction vielleicht erklärbar.

Eine andere Frage war, ob in der Colloidmasse Globulinkörper vorhanden seien. Man kann, wie ich gesehen habe, durch 6 procentige Steinsalzlösung aus der frischen Schilddrüse Körper extrahiren, die bei starker Verdünnung des Auszuges ausfallen und die Eiweissreactionen zeigen. Behandelt man jedoch nach Alkoholhärtung mikroskopische Schnitte mit derselben Lösung, so verschwindet die Colloidmasse selbst in 48 Stunden nicht, und nachdem ich kleinere Stückchen der frischen Drüse mit der genannten Flüssigkeit 4 Stunden lang bei 40° C. digerirt hatte, konnte ich noch nach Chromsäurehärtung und Eosinfärbung die colloiden Massen in den Drüsenbläschen wie sonst nachweisen. Grössere Globulinmengen dürften somit in der Colloidsubstanz nicht vorhanden sein.

Eine der wichtigsten mikrochemischen Reactionen ist das Verhalten zu den üblichen Farbstoffen. In dieser Beziehung will ich, da schon so viele Beobachtungen von anderer Seite vorliegen, nur hervorheben, dass das Tinctionsvermögen der Colloidsubstanz ein sehr bedeutendes ist. Jedem Histologen sind die schönen Bilder bekannt, die durch Pikrocarminfärbung entstehen: das Colloid wird hier stark gelb und diese Färbung wird mit grosser Zähigkeit festgehalten. Färbt man mit ammoniakalischem Carmin, so nimmt das Colloid sehr leicht die Carminfärbung an. Schnelle und prachtvolle Färbung erhält man durch Eosin und durch die verschiedensten Anilinfarben. Die Behandlung mit Osmiumsäure und manchen ihrer Gemische färbt die Colloidmasse dunkel; die Reduction tritt besonders schön hervor, wenn die Schnitte mit Ehrlich'schem Haematoxylin ganz kurze Zeit behandelt werden. Nach längerer Tinction mit Haematoxylin nimmt die Colloidsubstanz eine blaugraue bis violette Färbung an.

Trotz gleichmässiger Erhärtung eines Drüsenstückes sieht man auf demselben Schnitt zuweilen den Inhalt einzelner Bläschen stärker, den anderer schwächer tingirt. Es ist hierbei vielleicht an Altersverschiedenheiten und dadurch bedingten Differenzen in der Consistenz zu denken, indem der ältere eingedicktere Inhalt sich vielleicht stärker färbt.

Blutgefässe.

Die Blutgefässe der Schilddrüse habe ich nicht näher untersucht. Nach den ausführlichen Angaben früherer Untersucher wäre das auch überflüssig gewesen. Auf das merkwürdige Verhalten der Capillaren wird man ohne Zuthun aufmerksam. Ich kann bestätigen, dass die Capillaren sich eng an das Epithel anlegen, dass zwischen beiden oft auch nicht die feinste Scheidewand zu erkennen ist, und dass nicht selten das Capillargefäss das Epithel nach innen drängt und eindrückt.

Isolirt man die Follikel durch die oben erwähnte Kaliumchloratlösung, so erhält man oft sehr zierliche Fragmente des Capillarnetzes, die den Drüsenbläschen anhaften. Sehr hübsch sind die natürlichen Füllungen dieses bekanntlich aus weiten Gefässen bestehenden, engmaschigen Netzes, die man zuweilen in dickeren Schnitten der frischen dem lebenden Thier ausgeschnittenen Drüse erhält. Die ungewöhnliche Reichlichkeit der Blutversorgung der Schilddrüse ist jedem Untersucher aufgefallen.

Die Interfollicularräume.

Dass zwischen den Follikeln der Schilddrüse neben den überaus reichlichen Blutgefässen ein Lymphgefässnetz von grosser Mächtigkeit sich ausbreitet, ist von Vielen bemerkt worden. Nicht alle vorhandenen Abbildungen geben aber von ihnen deutliches Bild; am wenigsten die Fig. 12 der Abhandlung von Peremeschko (7). Sehr gelungen dagegen müssen die Injectionspraeparate gewesen sein, die Baber's schönen Abbildungen zu Grunde liegen. Ich selbst habe durch Einstichinjection Berliner Blau in die Lymphräume eingetrieben, danach in Pikrinsäure gehärtet und dicke aufgehellte und in Balsam eingeschlossene Schnitte untersucht. Was noch mehr auffällt wie der Reichthum an Lymphräumen, ist ihre grosse Weite; selbst dann, wenn man mit gelindestem Drucke und sehr langsam die Farbmasse einspritzt, füllen sich besonders dicht unter der Kapsel und um die grösseren Gefässe gewaltige hie und da mit bindegewebigem Septis versehene Räume mit ihr an. Sie communiciren mit den feineren Canälen, die mit ihren Netzen die Follikel oder Follikelgruppen umspinnen.

Bei der Injection füllen sich auch mehrere die Drüse verlassende Lymphgefässstämme. Insbesondere fiel mir ein langes dünnes Gefäss auf, das unverästelt und ohne Anastomosen den Hals hinab bis in die Gegend der oberen Brustapertur sich verfolgen liess.

Mir lag weniger an einem genaueren Studium des Lymphgefässnetzes wie an dem ihres Inhalts. Wiederholt ist neuerdings hervorgehoben worden, dass die Lymphgefässe eine ähnliche Substanz enthalten, wie die Follikel. Die Sache ist von Baber und Zeiss näher untersucht worden. Während ersterer in seiner eingehenden Abhandlung über die Schilddrüse des Hundes sowie in seiner späteren Mittheilung den Inhalt der Lymphräume einfach für Colloidsubstanz erklärt, glaubt Zeiss sein Urtheil noch etwas zurückhalten zu müssen. Auch Biondi hat den grossen Reichthum der Schilddrüse an Lymphräumen und ihren Inhalt geschildert. Die Beobachtung ist jedenfalls schon sehr alt. Ich finde in der Huschke'schen Ausgabe der Soemmering'schen Eingeweidelehre (vom Jahre 1844) folgenden Passus: „. . . Ob nun ihre Venen oder ihre Saugadern, welche

eine dickere coagulablere Lymphe enthalten sollen, als die Saugadern ihrer Umgebung, eine eigentümliche für die Blutbildung in den Lungen nöthige Flüssigkeit hervorbringen und dem Venenblut zumischen, ist wahrscheinlich, aber nicht erörtert."

Ich selbst machte die Beobachtung zufällig und ohne von den früheren Angaben Kenntniss zu haben, gleich im Anfang meiner Schilddrüsenstudien.

Nur selten wird man eine Schilddrüse vom Kalb oder gar vom Hund untersuchen, ohne Colloidmassen in den Interfollicularräumen zu finden. Zuweilen sind die Räume nur eng, die sie erfüllende Substanz nur spärlich; andere Male aber — und es handelt sich in diesen Fällen oft um jugendliche, immer aber um nur mässig voluminöse, durchaus nicht etwa kropfige Drüsen — findet man am gehärteten Praeparat ein Canalsystem von erheblicher Weite mit den colloiden Massen angefüllt. 30 bis 50 μ dicke Schnitte aus Drüsen, die in Chromsäure oder in Müller'scher Lösung unzerschnitten gehärtet worden sind, geben mit Glycerin (nicht mit den üblichen aetherischen Oelen u. s. w.) aufgehellt, bei schwacher Vergrösserung manchmal überraschende Bilder. Die Lymphräume, unter denen weite perivasculäre Sinus besonders hervortreten, machen den Eindruck, wie wenn sie mit einer durchscheinenden Wachsmasse ausgegossen wären.

Statt weiterer Schilderung verweise ich auf die mitgetheilten Figuren 1 bis 3 (Taf. V) dieser Abhandlung. Fig. 1 und 2 entstammen verschiedenen Hunden. Besonders erstere, die bei sehr schwacher Vergrösserung aufgenommen ist, dürfte lehrreich sein. Schon makroskopisch waren hier die grösseren mit transparenten Massen gefüllten Lymphräume deutlich zu unterscheiden. Die perivasculären Lymphräume sind besonders auffallend. Fig. 3 ist vom Kalbe. Auch hier sind die Blutgefässquerschnitte von Colloidmasse eingeschlossen.

Dass es sich bei diesem Inhalt der Lymphräume um wahre Colloidmassen handelt, dass man es mit derselben Substanz zu thun hat, welche man in den Follikeln findet, ist zweifellos. Morphologisch ist das Verhalten genau dasselbe: dieselben Schrumpfungserscheinungen bei gleicher Behandlung, die sog. Vacuolen, dieselbe homogene Beschaffenheit u. s. w. Bei allen Färbungsversuchen verhält sich der Lymphgefässinhalt ganz genau so, wie der der Drüsenbläschen. Endlich ist das mikrochemische und tinctorielle Verhalten den oben angeführten Reagentien gegenüber genau dasselbe.

Schon frühere Autoren haben das die Lymphräume begrenzende Endothel dargestellt. Insbesondere giebt Baber hübsche durch Injection mit Silberleim erhaltene Bilder. Mir gelang die Darstellung des Endothels auf folgende Weise: Ich liess eine Drüse auf dem Tisch des Gefriermikrotoms gefrieren, machte dann nicht allzufeine Schnitte, die sofort in dünne

Silberlösung gebracht wurden. Nach der Exposition traten die Endothellinien an einzelnen Stellen dann recht gut hervor. Daneben hatte sich vielfach auch die Kittsubstanz des Follikelepithels geschwärzt; eine Verwechselung ist aber ausgeschlossen. —

Es ist kaum zu bezweifeln, dass das Vorkommen der Colloidmassen in den Follikeln einerseits, in den grossen Lymphwegen andererseits in einem ursächlichen Zusammenhang steht. Offenbar dringt die in die Binnenräume der Drüsenbläschen abgesonderte Masse aus diesen in die Lymphräume ein. Dennoch ist es nicht leicht, eine Communication beider zu erweisen. Wie Boéchat und Zeiss misslang auch mir der Versuch, durch Einstichinjectionen in die Drüsensubstanz die Follikel zu füllen. Ausser den Lymphräumen füllten sich oft einzelne Blutgefässe mit der Farblösung an; die Follikelräume blieben frei davon.

Trotzdem besteht, wie ich zeigen werde, ein Zusammenhang. Wenn die Injection misslingt, so könnten daran klappenartig angeordnete Widerstände Schuld sein, die zwar ein Uebertreten der Secretmassen aus den Drüsenbälgen in die Lymphbahnen, nicht aber ein Eindringen von Farbstofflösungen in umgekehrter Richtung gestatteten. Wahrscheinlicher ist indessen eine andere Erklärung. Es wird weiter unten gezeigt werden, dass unter den vielen Drüsenbläschen nur einzelne in Folge einer Durchbrechung ihrer Epithelwand frei mit den Lymphräumen communiciren. Im günstigsten Falle wäre also die Füllung vereinzelter Follikel denkbar. Da nun aber die Follikel unter sich, wie ebenfalls aus der späteren Darstellung hervorgehoben wird, nur spärlich und wenn überhaupt, dann meistens nur zu weit zusammenhängen, die Inhaltsmassen also nicht leicht aus dem einen in andere hinübergeleitet werden können, so ist eine Verdrängung derselben durch Farbstofflösungen sehr erschwert, wenn sie überhaupt möglich ist. Dazu mag kommen, dass der injicirte Farbstoff Wege, auf denen er auch nur geringen Widerstand findet, schon deshalb nicht betreten wird, weil für sein leichtes Eindringen in die weiten Blutgefässe und seinen Abfluss durch diese kaum ein Hinderniss zu bestehen scheint.

Anderweitiger Inhalt der Follikel und der Lymphräume.

In beiden erkennt man nicht selten Trümmer zerfallender Epithelzellen mit mehr oder weniger veränderten Kernen, zuweilen Gruppen geschrumpfter Epithelkerne. Ueber diese Bildungen soll weiter unten Auskunft ertheilt werden. Andere Inhaltsmassen sind meinen Erfahrungen nach selten. Das gilt besonders von dem von Manchen hervorgehobenen, von Baber für physiologisch wichtig gehaltenen Auftreten rother und weisser Blutkörperchen im Follikelinhalt. Ich sah, auch bei Hunden, falls die

Drüsen ganz frisch und ohne mechanisch zu sehr geschädigt zu sein, in die Fixirflüssigkeit gelangten, rothe Blutkörperchen nur in wenigen Fällen; in solchen traten sie auch ab und zu in den Lymphräumen auf. Keineswegs kann ich aber ihr Vorkommen mit Baber für ein constantes, nicht einmal für ein häufigeres erklären. Beachtenswerth erscheint mir ihr Vorkommen an solchen Stellen, wo durch Schmelzung der Follikelwände (siehe später) ein Durchbruch eines Follikels in einen anderen oder in einen benachbarten Lymphraum stattgefunden hat. Da die hier eingetretene Zerstörung nicht ohne Vernichtung von Blutcapillaren ablaufen kann, so ist das Vorkommen kleiner Haemorrhagien an diesen Stellen wohl verständlich. In den Lymphräumen fiel mir die grosse Armuth des Inhaltes an Lymphkörperchen auf; sie fanden sich nur ganz vereinzelt. Bei Behandlung der Schilddrüsenschnitte mit dem Ehrlich-Biondi'schen Farbengemisch erkannte ich in den Lymphwegen hier und da Lymphoidzellen mit grober, tief kornblumenblau gefärbter Körnung.

Das Epithel.

a) Die Hauptzellen. Als solche will ich diejenigen Epithelzellen bezeichnen, die in den meisten Drüsenschläuchen die Hauptmasse der epithelialen Wand ausmachen, die auf den ersten Blick sogar die einzigen Bestandtheile derselben zu sein scheinen, und denen in Folge dessen bisher fast allein die Aufmerksamkeit der Untersucher zugewendet worden ist.

Diese Zellen sind beim Kalbe von cylindrischer oder säulenähnlicher Form; der Höhendurchmesser übertrifft hier den Breitendurchmesser (der im Profil gesehenen Zellen eines Schnittes) oft beträchtlich. Beim Hunde, Kaninchen, Meerschweinchen und bei der Katze kann man die Zellform als eine überwiegend cubische bezeichnen, obwohl beim Hunde auch ab und zu cylindrisches Epithel zu finden ist. Beim Kalbe sah ich vereinzelte Follikel, deren Epithel eine auffallend beträchtlichere Höhe besass, wie das der übrigen Drüsenbälge. Maasse für die Zellgrösse anzugeben, ist misslich, weil sie nicht nur in verschiedenen Exemplaren derselben Thierspecies, sondern auch innerhalb derselben Drüse bedeutend schwanken kann. Am wenigsten kann man Peremeschko folgen, der, obwohl er mehr als zehn Thierarten untersucht hat, für die Epithelzellen ein allgemeines bestimmtes Maass (0·005‴ für den Querdurchmesser, 0.0017‴ für den Längsdurchmesser) angiebt. Die Epithelhöhe steht nicht, wie vielfach behauptet worden ist, im Zusammenhang, etwa im umgekehrten Verhältniss, zur Follikelgrösse. Man dachte sich, dass der wachsende Inhalt der Drüsenblase die Wand zusammendrückt. Ohne dies ganz und gar zu bestreiten (s. später), muss ich doch sagen, dass in jüngeren Drüsen dies nur in be-

scheidenem Maasse der Fall sein kann. Jedenfalls sind die grösseren Follikel nicht deshalb grösser, weil ihr höherer Innendruck die Wand ausgeweitet hat, sondern weil sie aus mehr Epithelzellen bestehen. Man findet in einer und derselben Drüse Follikel, deren Binnenraum so klein ist, wie man ihn auf Querschnitten von Speicheldrüsenalveolen sieht, neben anderen mit einer hundertfach grösseren Höhlung, und in beiden Epithelzellen von gleicher Höhe. Oft sind die weitesten Räume gerade mit dem höchsten Epithel bekleidet. So fanden sich (beim Kalb) die oben erwähnten maximalen Cylinderzellen (mit einer Höhe bis zu 28·16 μ) gerade in ausnehmend weiten, verzweigten Drüsenschläuchen. In demselben, mit Flemming'scher Lösung fixirten Praeparat, in welchem diese Zellen gemessen wurden, schwankte die Zellhöhe in den übrigen Follikeln zwischen 10·24 und 20·48 μ.

In zweifelloser Abhängigkeit ist die Höhe des Epithels vom Alter; bei älteren Thieren ist sie geringer, wie in der Jugend. Da die Sache nicht etwa so liegt, dass die älteren Thiere immer auch weitere Follikel haben, wie Peremeschko behauptet hat, so ist eine mechanische Erklärung für diese Erscheinung nicht ohne weiteres zu geben. Die Thatsache selbst lässt sich leicht aus folgender Zusammenstellung erkennen. Die Drüsen waren im Osmiumgemisch fixirt, mit Alkohol gehärtet, mit Säurefuchsin oder mit Ehrlich-Biondi'scher Lösung gefärbt; die in Xylol aufgehellten Schnitte lagen in Canadabalsam und wurden bei 750facher Vergrösserung gemessen.

Maximale Zellhöhen.

I.	Junger Hund	12·25 bis 15·0 μ.
	Alter Hund	8·75 bis 10·0 μ.
II.	Neugebornes Kalb	18·0 bis 22·5 μ.
	Mehrmonatliches Kalb	12·25 bis 15·75 μ.

Um die äussere Form der einzelnen Zellen genauer zu untersuchen, isolirt man sie am besten in verdünnter Kaliumbichromatlösung. Allerdings geht die Isolation nach kurzdauernder Macerirung in Ranvier's $^1/_3$ Alkohol leichter von Statten, doch bleiben die Zellen hierbei nicht ohne Schrumpfung.

Die Isolirung bringt recht mannigfaltige Formen zur Anschauung. Mehreren Beobachtern ist bereits aufgefallen, dass der äussere dem Lumen abgewendete Zellrand protoplasmatische Fortsätze von verschiedener Zahl tragen kann. Manchmal erscheint hier die Zelle wie ausgefranzt. Zuweilen beruht aber die unregelmässige Begrenzung an dieser Seite wohl darauf, dass die Zelle durch ein Capillargefäss eingebuchtet worden ist, und dass ihr Leib dasselbe theilweise geradezu umscheidet hat.

Die innere Epithelgrenze erscheint an Schnittpraeparaten meistens scharf, so scharf, dass der Anschein einer eigenen Begrenzungshaut, einer Cuticula, entsteht. Es ist möglich, dass, wie Zeiss u. A. angenommen haben, eine solche besteht; es sind mir aber niemals Isolationsbilder derselben zu Gesichte gekommen, und der doppelte Contour, den man zuweilen sieht, könnte durch eine allzugrosse Schnittdicke vorgetäuscht sein; bei ganz dünnen Schnitten glaube ich ihn nie gesehen zu haben.

Der Zellleib enthält ein protoplasmatisches Fädenwerk oder Netzwerk, das an Osmiumpraeparaten, die mit Säurefuchsin behandelt sind, schön hervortritt, aber auch nach Haematoxylin-Eosin-Behandlung deutlich werden kann. Bei letzteren Schnitten ist das Kernnetz natürlich blau, das Protoplasmanetz roth gefärbt. Nach stärkerer Einwirkung von Säurefuchsin erkennt man bei der Untersuchung mit Abbe's Beleuchtungsapparat und homogener Immersion, dass die Fäden einen Körnchenbesatz tragen oder sogar aus feinsten aneinander gereihten Körnchen bestehen.

Der Zellkern liegt in einer äusseren Zone der Zelle. Er ist meist rund, bei langgestreckten Zellen aber auch oval.

Ob Mitosen im Epithel vorkommen, ist mir lange Zeit zweifelhaft gewesen. Neuerdings habe ich mich aber an der Drüse eines zwei bis drei Wochen alten Hundes (Mops), die theils in Flemming'scher Lösung, theils in Pikrinsäure fixirt war, mit Bestimmtheit von dem Vorkommen mitotisirter Theilungen überzeugen können.

Der kernfreie Theil der Epithelzellen zeigt, wie schon Zeiss bemerkt, eine stärkere Körnelung wie der übrige. In mehreren Drüsen vom Kalbe fiel mir eine dem Lumen des Follikels nahegelegene Körnchenzone auf, die in nahezu gleicher Breite durch alle Zellen des Follikelquerschnittes sich fortsetzte. Sie fällt um so mehr in die Augen, als sie aus Pigmentkörnchen besteht. Fig. 4 giebt ein treues Bild davon nach einem im Osmiumgemisch fixirten Praeparate. Die Zahl der Körnchen und die Breite der von ihnen gebildeten Zone ist hier bedeutend; die Grösse der einzelnen Körnchen variirt sehr; die grössten können $^1/_3$ bis $^1/_2$ Blutkörperchengrösse erreichen. Die Farbe ist, nach Chromosmiumessigsäurebehandlung gelblich, grünlich gelb, ähnlich der der rothen Blutkörperchen. Aehnlich ist aber ihre Färbung auch, wenn die Drüse in Sublimat gehärtet worden ist.

Die Körnchen sind sehr widerstandsfähig gegen verschiedene Reagentien, so gegen Essigsäure, Kalilauge u. A. m. Sie färben sich in Farbstofflösungen nicht leicht. Doch können sie nach langer Zeit die Säurefuchsinfärbung annehmen; auch durch Saffraninbehandlung (nachher in ungesäuerten Alkohol gebracht) werden sie roth, die Farbe behält dabei einen gelblichen Ton und ist nicht so leuchtend, wie die der Kernkörperchen. Die

Eosinfärbung gelingt schwer; die Farbe ist schliesslich ähnlich der der rothen Blutkörperchen: kupferroth mit gelber Nuance. Haematoxylin tingirt die Körnchen niemals. Eisenreaction zeigen sie nicht, wenigstens werden sie bei Behandlung mit Ferrocyankalium (2 Proc.) und Salzsäure nicht blau.

An vielen, besonders an den grösseren Körnchen ist deutlich, dass sie mit äusserst kleinen, spärlichen im Osmiumgemisch schwarz gefärbten Körperchen besetzt sind, die an Nelkenölpraeparaten bei Betrachtung mit Zeiss $^1/_{12}$ homog. Imm. gerade deutlich sind, aber nach Balsambehandlung sowie nach kurzdauernder Einwirkung von Terpentin verschwinden. Sie dürften aus Fett bestehen.

In anderen Fällen (vgl. Fig. 5) ist die Zahl der Körnchen viel kleiner, die Zone nur ein- bis zweischichtig, die Körnchengrösse weniger schwankend. Der Farbenton ist im Osmiumgemischpraeparat zuweilen ein mehr grauer, die Tinctionsverhältnisse sonst den eben erwähnten Körnchen ähnlich. Endlich kommen im Osmiumgemisch geradezu schwarz gefärbte Körnchen vor; ich sah sie auch beim Hunde. Sie liegen aber nicht in einer bestimmten Zone der Zelle, sind kleiner wie die oben beschriebenen gelblichen Körnchen, grösser aber wie die ihnen aufsitzenden schwarzen; sie entfärben sich wie diese im Terpentinöl und sind wohl als grössere Fettgranula aufzufassen.

Die Pigmentkörnchenzone finde ich nur von Baber erwähnt. Er giebt auch eine gute Abbildung davon, allerdings vom Hunde, wo ich sie nie zu sehen bekommen habe. Baber bringt die Körnchen in Zusammenhang mit dem Vorkommen von zerfallenden rothen Blutkörperchen im Follikelinhalt, und er hält sie für Zerfallsproducte derselben, die von den Epithelzellen resorbirt worden sind. Dagegen muss ich bemerken, dass die von mir untersuchten Follikel der Kalbsdrüse, deren Zellbelag die Körnchenzone in ausgezeichneter Weise zeigte, niemals rothe Blutkörperchen in intactem oder zerfallendem Zustande enthalten haben, wie ich denn überhaupt, auch für den Hund, dieses Vorkommen für ein seltenes erklären muss. Je frischer man die Drüse untersucht, desto seltener findet man neben der Colloidmasse noch andere Dinge in den Follikelhöhlen vor (vgl. auch Zeiss S. 17). Deshalb kann ich auch nicht die grosse physiologische Bedeutung anerkennen, die Baber dem Blutkörperchenzerfall, den er, wie es scheint, für eine Quelle der Colloidbildung hält, zuzuschreiben geneigt ist.

Woher die Pigmentkörnchen stammen und was sie zu bedeuten haben, ist schwer zu sagen. Ihr Aussehen, ihre Reactionen deuten allerdings auf nahe Beziehungen zum Blutfarbstoff; das lässt sich aber mehr oder weniger von vielen anderen Pigmenten auch sagen. Sehr auffallend ist ihre Anordnung in einer dem Lumen des Follikels anliegenden Zone der Epithel-

zellen. Daraus auf einen Ursprung aus dem Follikelinhalt zu schliessen, scheint mir aber doch nicht berechtigt; vielleicht deutet ihre Lage auf die Richtung protoplasmatischer Strömung im Zellkörper hin. Jedenfalls ist für die Beurtheilung ihrer Bedeutung wichtig, dass in sehr vielen Fällen die Körnchenzone völlig fehlt, dass sie beispielsweise beim Hunde eine Seltenheit zu sein scheint. Vielleicht kommt ihr keine andere Dignität zu, wie der Ablagerung von Pigmentgranula in vielen anderen Geweben, so z. B. in den Ganglienzellen, in denen die Bedeutung der Farbstoffablagerung zwar noch nicht erkannt ist, aber doch wohl eine functionelle nicht zu sein scheint.

Zum Schluss sei noch erwähnt, dass diejenige Epithelzone, in welcher die Körnchen liegen, zuweilen noch ein diffuses gelbliches Pigment zu enthalten schien, und dass sie in manchen Fällen sich durch Farbstoff leichter tingiren lässt, wie die übrigen Abschnitte des Zellkörpers.

b) Die Colloidzellen. In fast allen Schnitten, sei es, dass sie vom Kalbe oder vom Hunde stammen, falls sie nur aus Osmiumgemischpraeparaten herrühren, sieht man neben den genannten wegen ihres Ueberwiegens am besten als Hauptzellen zu bezeichnenden Epithelialgebilden eine zweite Art von Zellen, die in bald grösserer, bald kleinerer Zahl zwischen jene sich einschieben. Ihre Gestalt ist oft dieselbe wie die der Hauptzellen; in anderen Fällen erscheinen sie seitlich eingebuchtet, wie eingeklemmt, zuweilen viel schmäler wie die anderen. Ihre Häufigkeit ist eine sehr wechselnde. Beim Hunde, an dessen Schilddrüse ich sie häufig studirt habe, sieht man in manchen Praeparaten die meisten Follikelschnitte nur mit Hauptzellen ausgekleidet; in anderen enthält fast jeder daneben auch „Colloidzellen." Zuweilen ist ein Theil der Follikel frei von letzteren, während sie in den übrigen theils vereinzelt, theils zu zweit neben einander liegend, theils grosse Abschnitte der epithelialen Wand bildend zu finden sind.

Der Zellkörper dieser zweiten Zellenart zeichnet sich vor dem der Hauptzellen von vornherein durch seine mehr homogene hyaline glänzende Beschaffenheit und durch seine starke Färbbarkeit aus. Schon das Osmiumgemisch tingirt ihn dunkel. Alle Farbstoffe, welche die Colloidsubstanz färben, färben auch ihn. Sehr schnell und lebhaft tingirt ihn das Säurefuchsin, sei es, dass es allein oder in der Form der Biondi-Ehrlich'schen Lösung oder zusammen mit Methylenblau verwendet wird. Aehnlich das Eosin, Anilinblau u. s. w. Ich stehe deshalb nicht an, diesen Zellinhalt als colloid zu bezeichnen.

Er ist entweder gänzlich oder wenigstens vorwiegend homogen; in letzterem Falle ist neben der homogenen Masse noch ein Rest von Protoplasma vorhanden. Je nachdem dieser Rest grösser oder kleiner ist, nähert

sich die Zelle mehr oder weniger dem Aussehen einer Hauptzelle, so dass es gar nicht zweifelhaft sein kann, dass hier eine Stufenleiter von Umwandlungsvorgängen besteht, dass die einen Zellen von den anderen sich ableiten, aus ihnen durch allmähliche colloide Umwandlung ihres Inhaltes entstehen.

Ich gebe in Fig. 6 eine Abbildung aus einem mit Haematoxylin gefärbten Schnitte, an welchem die Profilbilder der hier besonders zahlreich vorhandenen „Colloidzellen“ sofort in die Augen fallen. Man erkennt hier deutlich die oben geschilderten Formen und Uebergänge.

Sehr deutlich treten oft die Colloidzellen auf Flächenansichten hervor (siehe die etwas schematisch gehaltenen, in den Grössenverhältnissen aber durchaus treuen Figuren 7 und 8, die mit dem Dreifarbengemisch behandelten Praeparaten entnommen sind). Benachbarte Colloidzellen verschmelzen oft derartig mit einander, dass ihre Zellgrenze sich völlig verwischt. Das ist an Fig. 8 deutlich zu erkennen. Nicht nebeneinander gelegene Colloidzellen sind zuweilen durch homogene, ähnlich wie Colloidmasse aussehende und sich verhaltende, schmale, zwischen den Nachbarzellen wie Kittleisten eingebettete Fortsätze mit einander verbunden. Sind die Colloidzellen selbst schmal, so kann daher im Flächenbilde der Eindruck entstehen, als seien die Hauptzellenlager durch ein mit colloidem Inhalt versehenes Canalsystem durchsetzt, das ab und zu sternförmige Verbreitungen zeige. Ein solches „Netzwerk“ ist auch von Anderen beschrieben worden. So sagt Zeiss (a. a. O. S. 24): „An kleinen, durch Maceration in verdünnter Müller'scher Flüssigkeit oder Chromsäurelösung von 1 Procent gewonnenen Partikelchen der Follikelauskleidung bemerkt man, dass an beiden Oberflächen derselben die benachbarten Zellen nicht dicht aneinander liegen, sondern immer durch glänzende Streifen getrennt sind. Diese bilden, indem sie sich zwischen alle Zellen hineindrängen, an einzelnen Punkten dieselben scheinbar weiter auseinander drängen und so sternförmige, gestreckte Figuren darstellen, vielfach verzweigte, communicirende Netze. In der Seitenansicht einer Zellenreihe sah ich ferner, dass dieses Netz nicht allein an beiden Flächen des Epitheliums ausgebreitet liegt, sondern mit seinen glänzenden Zäpfchen oder Fädchen sich in die Tiefe zwischen die Zellen selbst hineinschiebt. . . . Viel überzeugender und deutlicher giebt sich dies Structurverhältniss an feinsten Schnitten von Osmium- oder Chromsäurepraeparaten; namentlich an ersteren heben sich die verästelten sternförmigen Figuren der Geflechte an beiden Oberflächen des Epithelstratums der Follikel, dunkler geschwärzt als dieses, schön ab. Die verbreiterten Knotenpunkte zeigen mitunter Kerne mit verschwommenen Contouren. . . .“

Cresswell Baber hat diese Gebilde ebenfalls gesehen, als ein „Re-

ticulum“ beschrieben und auch abgebildet. Er sagt (a. a. O., *b*, p. 587): „In spirit and in osmic acid preparations, this reticulum is also observed in a surface view. In a profil view of the epithelium of the Tortoise (hardened in alcohol) there are seen at intervals amongst the epithelial cells, narrower cells with much elongated nuclei, which letter take the haematoxylin stain more darkly then the nuclei of the epithelial cells..... Probably these are more or less branched cells, which are situated in the swollen parts of the reticulum above-mentioned. . . .“ Vom Reticulum selbst meint er, dass es sei „probably formed by coagulated intercellular substance.“

Die von mir mitgetheilten Figuren 9 und 10, welche das vermeintliche „Reticulum“ in der Flächenansicht zeigen, stimmen mit diesen Darstellungen völlig überein. Insbesondere mache ich auch auf die länglichen, stark gefärbten Kerne in Fig. 9 aufmerksam, die der Beschreibung von Baber durchaus entsprechen. Sie sind beide von Kalbsdrüsen genommen. Auch die beiden demselben Thiere entnommenen Profilbilder Fig. 11 und Fig. 12 würden sich mit der Auffassung von Zeiss und von Baber in Uebereinstimmung bringen lassen. Beobachtungen aber am Hunde, und, wenn man sich hier mit den Verhältnissen genau vertraut gemacht hat, auch solche an Drüsen anderer Thiere, zeigen, dass die Deutung keine andere sein kann, wie die eben vorgetragene, dass das „Reticulum“ nämlich nichts anderes ist wie die Flächenansicht mit einander verbundener colloid metamorphosirter Epithelzellen. Einen Hauptnachdruck muss ich auf die colloide Reaction dieser Gebilde legen; einen weiteren auf ihre Kerne. Die Kerne können ganz und gar so aussehen, wie die der Hauptzellen. Dann sind auch die ihnen entsprechenden Zellterritorien breit und ausgedehnt. Aber eine Verschmälerung der letzteren scheint im Laufe ihrer Existenz eintreten zu müssen; solchen verschmälerten Colloidzellen entsprechen dann mehr oder weniger zusammengequetschte, in der Länge gestreckte, oft sehr bedeutend deformirte, durch Haematoxylin sehr dunkel sich färbende Kerne.

Von grösstem Einfluss auf die Form, in welcher sich die Colloidzellen darstellen, ist die Fixirmethode. Hat man mit Sublimat, Chromsäure, Pikrinsäure, Chromsalzen, Alkohol behandelt, so wird man vergeblich im Follikelschnitte nach deutlichen Colloidzellen suchen; höchstens findet man ein schmales „Netzwerk“ in der Flächenansicht, stäbchenartige, zwischen die Hauptzellen eingeklemmte Gebilde im Profilbild. Nur Osmiumgemische, und auch diese nicht in jeder Zusammensetzung, erhalten die Form der Colloidzellen; und das hat seinen guten Grund: alle Reagentien, die eine sichtbare Schrumpfung der intrafolliculären Colloidmasse herbeiführen, werden auch die Inhaltsmasse der Colloidzellen zur Schrumpfung bringen. Man sieht deshalb die Colloidzellen am schönsten an solchen Praeparaten, in

denen die Inhaltsmassen der Drüsenschläuche und Drüsenbläschen sich eng an die epitheliale Wandbekleidung anlegen.

Gegen die Colloidmasse des Follikelinhaltes setzen sich die Colloidzellen meist ebenso scharf ab, wie die Hauptzellen. Zieht sich die Colloidmasse zurück, so haftet sie an den Colloidzellen, wie es scheint, inniger, wie an den übrigen. In manchen Fällen ist der Innenrand der Colloidzellen weniger scharf, in anderen eine wirkliche Verschmelzung ihres Inhaltes mit der allgemeinen Colloidmasse vorhanden.

Sind (beim Kalbe) Pigmentkörnchen im Epithel vorhanden, so finden sie sich in den Colloidzellen gerade so gut, wie in den Hauptzellen.

In seinem schon erwähnten Vortrage hat Biondi mitgetheilt, dass er im Protoplasma der Epithelzellen Colloidsubstanz in der Form kleiner Kügelchen beobachtet habe. Auch Gutknecht (8) thut in seiner sorgfältigen Abhandlung „Die Histologie der Struma" ähnlicher Befunde in kropfigen Drüsen Erwähnung. Ich selbst habe einige Male hyalin glänzende, an Colloid erinnernde Schollen im Epithel angetroffen, halte ihr Vorkommen aber für ein ausserordentlich seltenes.

Mit den von mir oben geschilderten Befunden würde dagegen wohl übereinstimmen, wenn Gutknecht anführt, dass sie die Drüsenepithelien direct in die colloiden Massen umwandeln können (S. 14), und wenn er sagt: „. . . Aber auch im epithelialen Wandbelag der Follikel sieht man vereinzelte oder fast sämmtliche Zellen etwas gequollen und über das Niveau der anderen hervorragend, noch mit deutlichem tingirbarem Kern, aber ihr Protoplasma hell, homogen und stark glänzend." (a. a. O. S. 15). Freilich gilt auch diese Beobachtung nur für die Struma.

Rückbildungserscheinungen.

Schon in ganz jugendlichen Drüsen, schon beim Neugeborenen findet man im Epithel stellenweise Veränderungen, die als nichts anderes, wie als Involutionserscheinungen bezeichnet werden können. Es handelt sich um colloide Schmelzung des Epithels, in letzter Linie um Zerstörung der Follikelwand und ihrer Nachbarschaft. Man sieht die verschiedensten Stadien dieses Processes.

In einem Follikel erscheint ein Theil des Epithels auffallend platt; der Inhalt giebt Colloidreaction; der Kern ist geschrumpft und deformirt. Häufig sind es die einander zugewendeten Epithelstellen zweier benachbarter Follikel, die gleichzeitig von derselben Veränderung ergriffen erscheinen.

Die Epithelzellen können ganz schuppenartig werden, der Zellkörper schliesslich völlig schwinden, der ungestalte, Farbstoff begierig aufnehmende Kern allein übrig bleiben. Auch er kann zu Grunde gehen, so dass nichts

als das Endothel und vielleicht etwas Bindegewebe zwischen den beiden Follikeln an dieser Stelle die Scheidewand bildet. In diesem Stadium zeigt sich das Bild in Fig. 13.

Erliegt hier auch noch das an seinen Kernen erkennbare Zwischengewebe der Zerstörung, so ist eine Communication zwischen den beiden Nachbarbläschen hergestellt.

Andere Male erfolgt der Durchbruch noch bevor der Epithelschwund so weit gegangen ist. In die Follicularräume hängen dann Fetzen zusammenhängender flacher Epithelschuppen mit ihren auffallenden Kernen. Auch hier kommt es zum völligen Schwunde; die Kerne überdauern länger wie die Zellleiber, und so sieht man in Folge dessen Kernhaufen in die Colloidsubstanz eines Follikels eingebettet.

Indem die Schmelzung der Follikelwand weiter um sich greift, kommt es zu weiten Communicationen, schliesslich zur völligen Verschmelzung zweier Follikel zu einem grösseren.

Oft aber ist der Vorgang nur an der Wand eines einzelnen Follikels erkennbar. Das Epithel und die äussere Hülle des benachbarten hält Stand. Ist in dem ersteren die Schmelzung vollendet, so ist in Folge dessen eine Communication mit dem nächsten Interfollicularraum, mit dem Lymphraum hergestellt, und der colloide Inhalt des geborstenen Follikels mischt sich mit dem Inhalt des Lymphraumes. Offenbar ist das die Art und Weise, wie überhaupt die Colloidmasse aus den Follikeln in die Lymphräume übertritt (Biondi). Ob sie die einzige ist, vermag ich aber nicht zu sagen.

Der Einbruch in den Interfollicularraum kann auch gleichzeitig von zwei Seiten her erfolgen; so stellt dies Fig. 14 dar. Hier hat, wie es scheint, das endotheliale Gewebe den meisten Schaden gelitten. Die innere Begrenzung des colloid metamorphosirten Epithels (Cuticula?) hat noch Stand gehalten; von ihr hat sich (wohl nur in Folge nicht genügender Fixation durch das Osmiumgemisch) der Colloidinhalt beider Nachbarfollikel etwas zurückgezogen.

Zu einer ähnlichen Schmelzung ist es in dem in Fig. 15 theilweise dargestellten Follikel gekommen; hier ist aber noch innere und äussere Begrenzung erhalten geblieben. In der Ecke rechts sieht man zwei geschrumpfte Kerne. Auffallend ist hier das Erhaltensein der einen Epithelzelle inmitten des Schmelzungsherdes.

Die Mannigfaltigkeit der Schmelzungsvorgänge ist übrigens noch viel grösser, als wie das hier durch Wort und Bild dargestellt werden konnte.

Den Mechanismus der hier geschilderten Vorgänge möchte ich mir folgendermaassen denken. Durch zunehmendem Druck von Seiten der abgesonderten Colloidmassen wird das Leben eines Theiles der epithelialen

Wandbekleidung zerstört; das Protoplasma schwindet; der Kern schrumpft, der übrig gebliebene Theil des Zellkörpers infiltrirt sich mit Colloidsubstanz. Auch das Endothel muss dem Drucke weichen. Durch den Schwund der Follikelwand wird Platz für das Secretionsproduct geschaffen.

An einen genetischen Zusammenhang zwischen den oben beschriebenen Colloidzellen und der Schmelzung des Epithels möchte ich, trotzdem ein solcher von Vielen vielleicht für wahrscheinlich gehalten werden dürfte, nicht glauben. Ich denke mir im ersteren Falle eine active Thätigkeit des lebenden Zellprotoplasma's, im zweiten eine passive Infiltration der abgestorbenen Zelle. Vielleicht — ich möchte das sogar für wahrscheinlich halten, — gehen auch die colloiden Zellen nach Erfüllung ihrer Lebensaufgabe zu Grunde und machen anderen demselben Schicksal geweihten Epithelzellen Platz; aber schon die lange sich intact erhaltende Form der Kerne deutet darauf hin, dass hier eine primäre Abtödtung nicht vorliegen kann. Schwinden hier die Zellkörper, so geschieht dies durch Auspressung des zu Colloid gewordenen Inhaltes, Zusammendrückung in der Querrichtung; ob dabei etwas vom Protoplasma übrig bleibt, ob eine Regeneration statt hat, lässt sich nicht sicher entscheiden. Ich möchte allerdings an ein vollständiges Zugrundegehen dieser Zellen glauben, da die erste Entstehung von Colloidsubstanz, die erste Secretion im Embryo oder Neugeborenen nach den Beobachtungen von Wölfler ebenfalls mit Zerstörung des Epithels einherzugehen scheint. Freilich verdienen diese wichtigen Entwickelungsstadien noch ein weiteres eingehendes Studium.

Schlussbemerkungen.

Die alleinige histologische Untersuchung eines Organs wird niemals ausreichend sein, um uns über die functionelle Bedeutung desselben aufzuklären. Dazu muss sie sich mit dem Experiment und dem chemischen Studium verbinden. Die von der Histologie gegebenen Fingerzeige sollten aber niemals vernachlässigt werden. Auch bei der Schilddrüse werden wir uns die Frage vorzulegen haben, was aus den mikroskopischen Befunden sich etwa für die Verrichtungen des so lange räthselhaft gebliebenen Organs folgern lässt.

Fassen wir zunächst Das kurz zusammen, was sich in dieser Richtung verwerthen lassen könnte.

Die Thyreoidea hat das Aussehen und den Bau einer Drüse, doch fehlt ihr der Ausführungsgang; denn von den häufigen Entdeckungen eines solchen hat sich bis heute keine bewährt. Viele haben sie gezählt und zählen sie zu den „Blutdrüsen“ oder „Blutgefässdrüsen“. Mit dieser Bezeichnung macht man aber, falls sie physiologisch gemeint ist, unbewiesene Voraus-

setzungen; der Begriff leidet auch an Unklarheit, und vereinigt durchaus heterogene Dinge in einer Gruppe.

Die Drüse besteht aus Follikeln, die eine epitheliale Wand besitzen und colloide Massen enthalten. Mit derselben Colloidsubstanz sind die weiten Lymphräume bald mehr, bald weniger angefüllt.

Das cubische oder cylindrische Epithel zeigt schon im jugendlichen Zustande neben den die Mehrzahl bildenden protoplasmatischen Elementen Zellen mit colloidem Inhalt.

Die Blutversorgung der Drüse ist eine aussergewöhnlich reichliche, so reichlich, dass, wie schon ältere Anatomen sich ausdrückten, kaum ein anderer Theil des Körpers eine verhältnissmässig so grosse Blutmasse zugeführt erhält. Die weite Divertikel bildenden (Zeiss) Capillaren treten dicht und ohne durch etwas anderes, wie durch ihre Wand, von ihm geschieden zu sein, an das Epithel heran.

Aus diesen Thatsachen ergiebt sich zunächst mit grosser Wahrscheinlichkeit, dass die Thyroidea ein absonderndes Organ ist, dass sie die Bezeichnung einer wahren Drüse verdient. Das Secretionsproduct ist die Colloidsubstanz, mit der absondernden Function sind die Epithelzellen betraut. Die Colloidzellen stellen functionelle Zustände des secernirenden Epithels dar. Sie entstehen aus den protoplasmatischen Zellen durch colloide Metamorphose ihres Inhaltes und geben die in ihnen entstandene Substanz an den Follikelbinnenraum ab. Vermuthlich gehen sie dabei zu Grunde.

Um dieser, wie es den Anschein hat, wichtigen Aufgabe zu genügen, stehen die Epithelzellen in nächster Beziehung zu dem ihnen überreichlich dargebotenen Blutstrom, der ihnen das Absonderungsmaterial zuzuführen hat.

Das Secret sammelt sich in den Hohlräumen der Follikel an; aus ihnen gelangt es auch in die Lymphräume der Drüse, und zwar dadurch, dass das Epithel stellenweise usurirt wird. Eine weitere Fortschaffung der Colloidmasse in die abführenden Lymphgefässe ist nicht ausgeschlossen; doch erscheint sie wegen der Engigkeit dieser und der zähen, schwer flüssigen Beschaffenheit jener nicht sehr wahrscheinlich. Auch eine allmähliche Fortschaffung durch das Blut hat bei der (im physikalischen Sinne) colloidalen Beschaffenheit des Secretes keine grosse Wahrscheinlichkeit für sich. Doch müssten genaue Untersuchungen der abfliessenden Lymphe und des Venenblutes vorgenommen werden, um hier ein bestimmtes Urtheil zu ermöglichen. Mikroskopisch lässt sich in dem Inhalt vom Schnitt getroffener Drüsenvenen Colloidsubstanz (etwa durch auffallende Färbungsfähigkeit) nicht nachweisen.

Das Wahrscheinlichste scheint mir, dass das Absonderungsproduct in der Drüse selbst, in ihren Follikelräumen und Lymphräumen verbleibt,

deponirt wird. Durch allmählichen Wasserverlust desselben, durch Epithelschwund und durch Bildung neuer Follikel aus vorhandenem Bildungsmaterial (s. Wölfler, Baber u. A.) wird stets neuer Platz für die Aufnahme des Secretes geschaffen. Man müsste demnach die Schilddrüse, anstatt sie mit anderen Drüsen unsicherer, aber wahrscheinlich ganz andersartiger Function zusammenzufassen, als eine Drüse besonderer Art, als eine „Vorrathsdrüse" bezeichnen, deren Aufgabe darin bestehen mag, das Blut von unnützen oder gar unheilvollen Substanzen zu reinigen.

Angeführte Schriften.

1. Boéchat, *Recherches sur la structure normale du corps thyroïde.* Thèse. Paris 1873.

2. Poincaré, Contribution à l'histoire du corps thyroïde. *Journal de l'anatomie et de la physiologie.* 1877. p. 123.

3. Zeiss, *Mikroskopische Untersuchungen über den Bau der Schilddrüse.* Dissertation. Strassburg. 1877.

4. Baber, a) Contributions to the minute anatomy of the thyroid gland of the dog. *Philosophical Transactions etc.* 1876. Vol. 166. p. 557.

b) Researches on the minute structure of the thyroid gland. *Ebenda.* 1881. Vol. 172. p. 577.

5. Wölfler, a) *Ueber die Entwickelung und den Bau der Schilddrüse u. s. w.* Berlin 1880.

b) Ueber die Entwickelung und den Bau des Kropfes. *Archiv für klinische Chirurgie.* 1883. Bd. XXIX. S. 1.

6. Biondi, Beitrag zu der Structur und Function der Schilddrüse. *Berliner klinische Wochenschrift.* 1888. Nr. 47. (Referat).

7. Peremeschko, Ein Beitrag zum Bau der Schilddrüse. *Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie.* 1867. Bd. XVII. S. 279.

8. F. Gutknecht, Die Histologie der Struma. Inaug.-Dissert. Bern 1885. Virchow's *Archiv.* Bd. IC. S. 314.

Eine genauere Zusammenstellung der gesammten anatomischen Litteratur über die Schilddrüse giebt Wölfler (5 a), und gute historische Darstellungen finden sich bei Baber (4 b.) Die physiologische Litteratur habe ich zusammengestellt in meiner Abhandlung: Aeltere und neuere Ansichten über die Schilddrüse. *Biologisches Centralblatt.* 1889. Bd. IX. S. 426 u. 460.

Einen kurzen Bericht über meine Untersuchung bringt *Berliner klinische Wochenschrift.* 1889. Nr. 35.

Erklärung der Abbildungen.

(Taf. V.)

Alle Zeichnungen sind mit Hülfe der Oberhäuser'schen Camera lucida entworfen. Die Ocularvergrösserung näherte sich dabei der durch Hartnack Oc. IV.

Fig. 1. Schilddrüse eines etwa halbjährigen Hundes (Mops). Dicker Querschnitt. Chromsäure. Eosin. Vergrösserung 1×22. Natürliche Injection der Lymphräume mit Colloid. Perivasculäre Räume. Die Colloidmassen sind rothgelb und transparent; das übrige Gewebe ist rosenroth gefärbt.

Fig. 2. Hund. Sublimat. Haematoxylin (Heidenhain). Hartnack Obj. 4. Die dem grossen mit Colloidmassen gefüllten Lymphraum anliegenden Follikel sind grösstentheils nur angedeutet.

Fig. 3. Kalb. Müller'sche Flüssigkeit. Ammoniakalisches Carmin. Vergrösserung 1×48. Lymphraum mit colloidem Inhalt.

Fig. 4. Kalb. Osmiumgemisch. Saures Haematoxylin (Ehrlich). Zeiss Obj. E. „Körnchenzone" des Follikelepithels.

Fig. 5. Kalb. Osmiumgemisch. Ehrlich-Biondi'sche Flüssigkeit. Geringe Zahl dunkel gefärbter Körnchen im inneren Raume der Epithelzellen. Zeiss homog. Immers. 1/12.

Fig. 6. Hund. Osmiumgemisch. Haematoxylin (Friedländer). Zeiss homog. Immersion 1/12. (Tubus ausgezogen.) Theile aneinander grenzender Follikel mit zahlreichen, offenbar in verschieden weit gehenden Stadien befindlichen „Colloidzellen". Sie zeichnen sich vor allem durch ihre dunkle Färbung vor den „Hauptzellen" aus. In zwei Zellen befinden sich Vacuolen.

Figg. 7 und 8. Hund. Osmiumgemisch. Ehrlich-Biondi'sche Färbung. Zeiss homog. Immersion 1/12. „Colloidzellen" und „Hauptzellen" in der Flächenansicht. In Fig. 8 sind die Colloidzellen zum Theil mit einander verschmolzen.

Fig. 9. Kalb. Osmiumgemisch. Haematoxylin (Ehrlich). Zeiss homog. Immersion 1/12. Hauptzellen und Colloidzellen von der Fläche gesehen; die letzteren zeigen Verbindungen untereinander, sind ziemlich schmal, ihre Kerne sind zusammengedrückt und haben sich stärker gefärbt, wie die der Hauptzellen.

Fig. 10. Kalb. Müller'sche Flüssigkeit. Carmin. Hartnack Obj. 8. „Reticulum" aus Colloidzellen, die sich mit einander verbinden; Kerne nicht sichtbar.

Figg. 11 und 12. Kalb. Osmiumsäure. Haematoxylin. Hartnack Obj. 8. Die Form der Colloidmasse unvollkommen erhalten. Inhalt der Follikel geschrumpft. Zwischen den die Mehrzahl bildenden Hauptzellen sind anscheinend zusammengepresste Colloidzellen eingeschaltet.

Fig. 13. Hund. Osmiumgemisch. Haematoxylin (Ehrlich). Zeiss Obj. E.) Die epitheliale Wand ist an den einander angrenzenden Stellen zweier Follikel vollständig geschwunden. Der Durchbruch ist noch nicht erfolgt.

Fig. 14. Hund. Osmiumgemisch. Haematoxylin (Friedländer). Zeiss homog. Immers. 1/12. Colloide Schmelzung des Epithels in zwei einander benachbarten Follikeln. Auch die endotheliale und bindegewebige Scheidewand ist verschwunden; die durch den Zerfall der Zellen freiwerdenden Colloidmassen ergiessen sich in den Interfollicularraum. Die Kerne der geschmolzenen, zum Theil noch in Umrissen kenntlichen Zellen sind stark geschrumpft.

Fig. 15. Hund. Osmiumgemisch. Haematoxylin. Zeiss homog. Immersion 1/12. Colloide Schmelzung des Epithels. In der von der Centralmasse noch scharf abgegrenzten, den ehemaligen Epithelzellen entsprechenden Colloidmasse liegt eine noch theilweise erhaltene Zelle, links zwei stark geschrumpfte Kerne.

Die Figuren 1, 2 und 6 sind nach den Originalvorlagen um $^1/_2$ linear verkleinert.

Ueber centrale und periphere Darminnervation.

Von

W. Bechterew und **N. Mislawski**
in Kasan.

(Hierzu Taf. VI—VIII.)

Bei den Untersuchungen über den Einfluss des Nervensystems auf die Darmbewegung liegt die Hauptschwierigkeit in der Methode, wie diese Bewegungen zur Beobachtung gebracht werden sollen. Schon Ed. Weber[1] hat darauf hingewiesen, dass die gewöhnlich zu diesem Zwecke vorgenommene Entblössung des Darmes schon genügt, um seine Bewegungen in Folge der Veränderung der Temperatur, der Circulation u. s. w. zu verstärken, wodurch die Untersuchung nicht allein erschwert, sondern auch zu Fehlschlüssen Anlass gegeben wird. Weber hat deshalb die Darmbewegung an kurz vorher getödteten Thieren ohne Eröffnung des Peritonaeums beobachtet.

Es unterliegt jedoch wohl keinem Zweifel, dass die Versuchsbedingungen bei eben getödteten Thieren andere als diejenigen bei lebenden sind, weshalb auch die Schlussfolgerungen aus solchen Versuchen nicht vorwurfsfrei bleiben.

Ausserdem stossen wir bei den Versuchen am Darm auf ein zweites wichtiges Hinderniss. Die Beobachtung mit dem Auge allein kann nämlich an einem so grossen Objecte, wie der Darmcanal, kaum eine bestimmte Vorstellung über den Charakter und die Aufeinanderfolge der Bewegungen seiner verschiedenen Abschnitte erwecken. Nichtsdestoweniger hat die Mehrzahl der Autoren nur auf diese Weise ihre Beobachtungen angestellt, wobei sogar die von Weber anempfohlenen Vorsichtsmaassregeln unbeachtet blieben.

[1] Weber, Muskelbewegung. R. Wagner's *Handwörterbuch der Physiologie* u. s. w. Bd. III. Abth. 2. 1846. S. 50. 51.

Nur in der letzten Zeit hat die graphische Methode auch bei der Untersuchung der Darmbewegungen sich Eingang verschafft. Die Beobachtungen wurden dabei jedoch gewöhnlich an einer aus der Bauchhöhle gezogenen Darmschlinge gemacht. Selbstverständlich können aber alle möglichen Vorsichtsmaassregeln, welche das Austrocknen und Abkühlen des Darmes verhüten sollen, nicht die gewünschten normalen Bedingungen für eine aus der Bauchhöhle entfernte Darmschlinge ersetzen.

Unsere erste Sorge bei der Untersuchung über die Innervation des Darmes war also eine passende Beobachtungsmethode. Hierbei hatten wir Acht zu geben, dass erstens der Darm unter seinen normalen Verhältnissen in der Bauchhöhle verblieb, und zweitens, dass die graphische Methode zur Anwendung kam; da bei dieser die Möglichkeit vorlag, zu gleicher Zeit sowohl den Charakter der Bewegungen wie den Zustand der verschiedenen Darmabschnitte beurtheilen zu können.

Wir verfuhren folgendermaassen: bei curarisirten Thieren (Hunden) wurde durch einen einige Centimenter langen Längsschnitt in der weissen Bauchlinie der Zwölffingerdarm oder eine Dünndarmschlinge hervorgeholt und der Anheftungsstelle des Mesenteriums gegenüber ein kleiner, einige Millimeter langer Einschnitt gemacht. Durch diese Oeffnung führten wir in die Darmhöhle das Ende eines Glasrohrs, das sich etwas erweiterte, folglich einen Hals besass, an welchen ein Ballon aus feinstem Guttaperchastoff (Condom) befestigt war. Hierauf legten wir durch die Darmwand um den Schnitt herum eine Nath, banden die Ligatur um den Hals des Glasrohrs und brachten die Darmschlinge mit dem in ihr befindlichen Ballon wieder in die Bauchhöhle zurück und schlossen hierauf den Einschnitt in der Bauchwandung mittels einer Klemmpincette derart, dass aus der Wunde nur das freie Ende des Glasrohrs hervorsah. Durch letzteres konnte das Rohr nebst dem in der Bauchhöhle befindlichen Ballon mit warmem Wasser (circa 40°) gefüllt und durch ein ebenfalls mit warmem Wasser gefülltes Gummirohr mit einem Wassermanometer verbunden werden. Das freie Ende des Manometers stand durch ein Gummirohr mit dem Marey'schen Registrirapparat und Kymographion in Verbindung. Durch dieselbe Oeffnung in der Bauchhöhlenwand wurde in derselben Weise irgend ein Abschnitt des Dickdarms behandelt.

Die hier beschriebene Methode erhält die oben angegebenen Bedingungen und erlaubt die geringste Bewegung des Darmes aufzuzeichnen. Ihre Empfindlichkeit ersieht man schon an Curven, welche von curarisirten Thieren mit künstlicher Athmung, ohne Reizung irgend eines Nerven, erhalten worden sind. Solche Curven erscheinen gewöhnlich gezackt. Die mit meist abgerundeten Gipfeln versehenen Zacken sind ausgeprägter an Curven von oberen Dünndarmtheilen und entsprechen der Zeit nach den Bewegungen

des Blasebalgs, welcher die künstliche Athmung besorgt. Sistirt man die letztere, so verschwinden auch die Zacken, weshalb sie als von den künstlichen Athembewegungen direct abhängig erklärt werden müssen.

Wenn aber der Darm noch nicht völlig zur Ruhe gekommen ist, so erscheinen viele dieser Zacken, besonders bei der Untersuchung des Dünndarms, mehr oder weniger modificirt, weil zu den Athembewegungen sich selbständige rhythmische Contractionen des Darmcanals gesellen. Diese letzteren folgen eine der anderen gewöhnlich mit mehr oder weniger gleicher Geschwindigkeit, wobei sie noch einige Zeit nach dem Einstellen der künstlichen Athmung fortdauern. In solchen Fällen bleibt endlich die ganze Curve nicht parallel der Abscissenlinie, sondern zeigt langsam ansteigende Erhebungen und allmählich abfallende Senkungen, welche auf peristaltische Bewegungen des Darmcanals hinweisen.

In Bezug auf diese müssen wir bemerken, dass wir uns bei unseren Versuchen nicht von der Richtigkeit der von einigen Autoren vertretenen und auch in das sehr verbreitete Lehrbuch der Physiologie von Foster[1] aufgenommene Meinung überzeugen konnten, nämlich dass die Erregung des Dünndarms nicht solche des Dickdarms bedingt, weil die Bauhin'sche Klappe ein Hinderniss für die weitere Verbreitung der peristaltischen Bewegung abgeben soll. Im Gegentheil, führt man dem Versuchsthier Ballons in den Zwölffingerdarm, in den oberen Abschnitt des Dickdarms und den Mastdarm, so sieht man wie die durch elektrische Reizung des oberen Theiles vom Duodenum (in der Nähe des Pylorus) hervorgerufene Contractionswelle mit vollkommen regelmässiger Aufeinanderfolge nicht nur über die Bauhin'sche Klappe hinweg auf den oberen Theil des Dickdarms sich fortsetzt, sondern auch am Mastdarm noch zu constatiren ist, wenn auch schwächer als in dem oberen Dickdarmabschnitt. Uebrigens ist es nöthig hier einzuschalten, dass eine solche Verbreitung der Peristaltik nur dann zur Beobachtung gelangt, wenn die anfängliche Contractionswelle genügend stark ist, sonst aber, bei schwacher Anfangscontraction und bei heruntergekommenen Thieren kann die peristaltische Bewegung am oberen Theile des Dickdarms oder, was öfters geschieht, an unteren Abschnitten des Dünndarms zur Ruhe kommen.

Wie bekannt, entsteht die Peristaltik durch eine dem Darmcanal entlang verlaufende starke Contraction mit darauf folgender Erschlaffung der Darmwandungen. Da andererseits durch Reizung der Vagi und Splanchnici, wie wir später sehen werden, Contractionen und Erschlaffungen der Darmwandungen, welche weit schärfer als die selbständigen rhythmischen Bewegungen ausgeprägt sind, erhalten werden, so haben wir Grund, einen bestimmten Spannungszustand der Darmwandung, ihren Tonus anzunehmen.

---

[1] Foster, *A Text Book of Physiology.* 4th Edition. London 1883. p. 288.

Dieser Tonus wird wahrscheinlich hauptsächlich bedingt durch die in der Darmwand befindlichen Ganglien. Jedenfalls konnten wir uns bei unseren Versuchen überzeugen, dass weder die beiderseitige Durchschneidung der Vagi noch die der Splanchnici einen besonderen Einfluss auf den Darmtonus ausübt.

Beide angegebenen Arten der Darmbewegung, d. h. die rhythmische und die peristaltische, können bei Thieren auch nach der Durchschneidung der Vagi, und sogar nachdem der Darmtractus ganz vom centralen Nervensystem getrennt worden, auftreten, somit sind auch die Bedingungen ihrer Entstehung an der Peripherie, d. h. im Darmtractus selbst zu suchen.

Was den Einfluss der zum Darmtractus tretenden Nerven anbetrifft, so kann derselbe, wie wir uns überzeugt haben, in Veränderung des Tonus, der beschriebenen rhythmischen Darmbewegung, oder in Erregung oder Herabsetzung der Peristaltik sich äussern.

Bekanntlich beeinflussen die Vagi und die Splanchnici, nach einigen Autoren auch der Brustsympathicus die Darmbewegung. In dieser Reihenfolge werden wir auch hier den Einfluss der aufgezählten Nerven auf den Darmcanal besprechen.

I. Nn. vagi.

Alle Autoren, welche sich mit dem Einflusse der Vagi auf die Bewegungen des Darmtractus beschäftigt haben, behaupten einstimmig, dass diese Nerven als motorische für den Dünn- und Dickdarm mit Ausnahme des Colon descendens und Rectum anzusehen sind. Ueber die Herabsetzung der Darmbewegungen und des Darmtonus durch diese Nerven findet sich in der Litteratur keine Angabe ausser der von Budge, welcher eine solche gar nicht zulässt. Ausserdem blieb der Charakter der Darmbewegungen, welche durch die Reizung der Vagi herbeigeführt worden sind, bisher ganz unerforscht.

Eine lange Reihe von Versuchen mit elektrischer Erregung der Vagi belehrte uns, dass diese Nerven hauptsächlich den Dünndarm beherrschen. In Bezug auf den Dickdarm äussert sich der Einfluss der Vagi schon viel schwächer und beschränkt sich derselbe grösstentheils auf den oberen Theil des Dickdarms. Doch bestehen hier, wie wir bei einzelnen Versuchen uns überzeugen konnten, einige Unterschiede. Zuweilen rief die Reizung der Vagi nur Dünndarmbewegung hervor, wobei der Dickdarm ganz ruhig blieb oder sich nur schwach bewegte, während in anderen Fällen zugleich mit der Contraction des Dünndarms starke Bewegungen des oberen Dickdarmtheiles auftraten.

In den Fällen, in welchen man bei der Vagusreizung Dickdarmbewegung erhält, zeigen die Curven von den Ballons im Zwölffingerdarm und im oberen Abschnitt des Dickdarms, dass der letztere sich zweimal contrahirt: einmal ziemlich schwach fast zugleich mit der Contraction des Dünndarms, zum zweiten Mal schon stärker einige Zeit nachher, zum Schluss oder nach der Contraction des Zwölffingerdarms (vergl. Fig. 1, Taf. VI, die untere Curve).

Führt man dagegen in den Blinddarm, den mittleren Theil des Dickdarms und den Mastdarm drei Ballons, so sieht man, dass die Vagusreizung Contractionen aller drei Abschnitte hervorruft, und zwar in regelmässiger Aufeinanderfolge: zuerst tritt die Contraction des Blinddarms, dann die des mittleren Abschnittes des Dickdarms und schliesslich die des Mastdarms auf, zugleich ist die Contraction des letzteren schwächer, als die der oberen Abschnitte.

Da in unseren Versuchen bei unmittelbarer elektrischer Reizung des Duodenumanfanges in eben solcher regelmässiger Aufeinanderfolge peristaltische Bewegung der verschiedenen Abschnitte des Dünn- und Dickdarmes, den Mastdarm nicht ausgenommen, auftreten, so darf man wohl annehmen, dass die angegebenen Dickdarmbewegungen in Folge der Vagusreizung als Resultat der Verbreitung der Dünndarmperistaltik über die Bauhin'sche Klappe hinaus angesehen werden müssen. Unmittelbar von der Vagusreizung ist nur die erste zugleich mit der Dünndarmcontraction auftretende, gewöhnlich ziemlich schwache Bewegung des oberen Dickdarmabschnittes abhängig.

Somit ist es klar, dass der Vagus hauptsächlich nur den Dünndarm und theilweise auch den oberen Dickdarmabschnitt innervirt. Die energischen Dickdarmbewegungen, den Mastdarm mit inbegriffen, welche neben Anderen auch Budge[1] beobachtet hat, sind nicht durch den directen Vaguseinfluss, sondern durch die Verbreitung der Peristaltik vom Dünn- auf den Dickdarm zu Stande gekommen.

Was den Charakter der Darmbewegungen, welche die Vagusreizung herbeiführt, anbetrifft, so bestehen in dieser Hinsicht nicht allein bei verschiedenen Thieren einer Art, sondern auch bei den beiden Nerven eines und desselben Thieres einige, oft ziemlich bedeutende Unterschiede. Constant ist die Eigenthümlichkeit des Vaguseinflusses auf den Darm, dass seine Reizung niemals continuirliche, andauernde Contraction des Darmes giebt.

Im Gegentheil, jedesmal wird die Contraction des Darms, welche durch die Reizung des Vagus herbeigeführt wurde, einige Male von Erschlaffungen

[1] Budge, *Lehrbuch der Physiologie.* 1882. S. 225.

unterbrochen. Ausserdem verstärkt die Vagusreizung die angegebenen rhythmischen Darmbewegungen; befindet sich der Darm aber in voller Ruhe, so werden solche erregt.

Die beigefügten Curven illustriren das Gesagte deutlich. So zeigt die obere bei Vagusreizung vom Hundedünndarm erhaltene Curve in Fig. 1 Taf. VI zuerst Contraction und darauf alsbald vollständige Erschlaffung des Darmes. Hierauf tritt wieder sehr starke Darmcontraction auf, welche bei der Beobachtung der Darmbewegungen mit blossem Auge für tetanisch angesehen werden könnte, während die Curve aber uns leicht überzeugt, dass sie aus einer Reihe rhythmischer Contractionen, unterbrochen von nicht vollständigen Erschlaffungen der Darmwand, besteht. Wurde der Vagus nicht mehr gereizt, so kehrte der Darm schnell zu seinem früheren Zustand zurück, zugleich verschwanden auch die starken rhythmischen Darmcontractionen, welche sich auf die Vagusreizung eingestellt hatten.

Demselben Typus gehören die Curven Figg. 2 und 3 der Taf. VI an. Hier erreichte die Darmcontraction zwar nicht eine solche Höhe wie in Fig. 1, dafür sieht man aber deutlich wie durch die Vagusreizung starke rhythmische Darmcontractionen erregt werden, und dass diese vor der Reizung gar nicht vorhanden waren. An der Curve Fig. 2 verdient Beachtung die allmähliche Entwickelung der rhythmischen Darmbewegung bis zu einem gewissen Maximum.

Bekanntlich kann jede rhythmische Contraction in Organen, welche gleich dem Darm einen Muskeltonus besitzen, als Resultat aufeinander folgender Thätigkeit erregender und hemmender Nervenapparate, deren Gleichgewichtszustand eben einen gewissen Spannungszustand, Tonus genannt, bedingt, aufgefasst werden.

Deshalb können auch die von uns angeführten Curven als Beweis, dass der Vagus sowohl auf den erregenden wie den hemmenden Apparat des Darmes wirkt, gelten, weshalb dieser Nerv bezüglich seines Einflusses auf den Darm als gemischter Nerv anzusehen ist.

Die Beobachtung lehrt jedoch, dass das Verhältniss der erregenden und hemmenden Fasern dieses Nerven bei verschiedenen Individuen nicht immer gleich bleibt.

Die Curven in Fig. 1, 2 und 3 Taf. VI gehören zu den häufiger vorkommenden Fällen, in welchen der erregende Einfluss über den hemmenden dominirt. Dadurch kann man wenigstens sich erklären, warum in unseren Fällen zugleich mit der verstärkten Rhythmik der allgemeine Tonus der Darmwand zunimmt. Es giebt aber auch solche Fälle, in welchen der hemmende Einfluss des Vagus Uebergewicht über den erregenden erhält. Alsdann erhalten wir mit der Rhythmik zugleich eine allgemeine Erschlaffung des Darmtonus. Als Beispiel hierfür kann die

Curve Fig. 4 der Taf. VI dienen. Hier sehen wir Erschlaffung des Darms, während welcher rhythmische Contractionen mit Erhebungen, welche kaum die Grenzen der tonischen vor der Reizung vorhandenen Darmwandcontraction erreichen, auftreten.

Endlich zeigt die Curve Fig. 5 der Taf. VI einen Fall, in welchem die Vagusreizung ein gemischtes Resultat gab. Hier dominirt anfangs Darmwandcontraction, wird aber zu Ende der Reizung durch Erschlaffung verdrängt, und diese hält noch einige Zeit, nachdem die Reizung eingestellt worden, an.

Beachtung verdient, dass die vorhergehende Aufhebung des Splanchnicuseinflusses auf den Darm durch Durchschneidung des Rückenmarks oder der Nerven selbst in solchen Fällen den hemmenden Einfluss des Vagus nicht verhinderten. Es ist also klar, dass der Vaguseinfluss auf die Darmbewegung nicht bei allen Individuen gleich ist, und zwar nicht allein bezüglich der Kraft, sondern auch des Charakters. Solcher ungleicher Einfluss kam bei unseren Versuchen häufig auch bei der Reizung des rechten und linken Vagus bei einem und demselben Thiere zur Beobachtung. Es geschah sogar, dass in einem Vagus der erregende, in dem anderen aber der hemmende Einfluss auf den Darmtonus vorherrschte.

Bemerkenswerth ist noch, dass sogar bei der Reizung eines und desselben Nerven der Effect in Bezug auf die Kraft und den Charakter nicht gleich zu sein braucht, wenn die Reizung nur zu verschiedenen Zeiten des Versuchs vorgenommen wird. Wenigstens hatte die Vagusreizung zum Schluss unserer Versuche, wo die Thiere schon erschöpft waren, oft nicht mehr einen so starken hemmenden Einfluss auf den Darm als zu Anfang der Versuche.[1]

Es muss angeführt werden, dass die von uns auf Vagusreizung beobachtete Darmerschlaffung auftrat, während das Herz ohne besondere Veränderung seines Rhythmus[2] noch zu schlagen fortfuhr,[2] weshalb hier von einem Einfluss des Herzstillstandes in Diastole[3] gar nicht die Rede sein kann, um so mehr, da wir hauptsächlich nur mit zeitweiliger Erschlaffung des Darmtonus und nicht mit gänzlicher Einstellung der Darmbewegungen zu thun hatten.

II. Nn. splanchnici.

Ueber den Splanchnicuseinfluss auf den Darmcanal existirten bei den Autoren bis jetzt starke Widersprüche. Nach dem Einen sind diese

[1] Gar nicht zu reden von den Versuchen an getödteten Thieren, welche Weber angestellt hat, die ja ganz andere Resultate als die Versuche an lebenden Thieren geben müssen.

[2] Zur genaueren Beobachtung wurde in die Herzspitze eine Snellen'sche Nadel eingestochen.

[3] Busch, *Wiener Sitzungsberichte.* 1878. Abth. III. Bd. LXVIII. Sep. Abd. S. 12.

Nerven motorische, nach Anderen Hemmungsnerven für den Darm; endlich weist eine dritte Gruppe von Autoren auf Thatsachen hin, welche für eine gemischte Natur des Splanchnicus sprechen.

J. Müller[1] hat zuerst gefunden, dass die Application eines bedeutend starken constanten Stromes auf den isolirten Splanchnicus oder das Sonnengeflecht verstärkte Darmbewegung herbeiführt. Diese Beobachtung bestätigten darauf Longet[2] und R. Hall.[3] Volkmann[4] sah bei Reizung des Splanchnicus major an Katzen Magenbewegungen auftreten.

Andererseits hat Ludwig[5] schon in der ersten Auflage seines Handbuches auf die Fähigkeit des Splanchnicus, bei seiner Reizung die Bewegungen des Darmes zu hemmen, hingewiesen. Zusammen mit Kupfer[6] unterwarf darauf Ludwig nochmals diese Frage einer sorgfältigen Untersuchung, wobei besondere Aufmerksamkeit der Isolirung des Splanchnicus von seiner Umgebung geschenkt wurde.[7]

Die Arbeit bestätigte den von Ludwig behaupteten Einfluss des Splanchnicus auf den Darm, wobei noch bemerkt wurde, dass ihre Reizung bei kurz vorher getödteten Thieren Darmbewegung bewirkt.

Nach derselben Methode hat in der Folge Hafter[8] unter der Leitung von Ludwig beide Splanchnici durchschnitten und ist auf Grund seiner Versuche zu folgenden Schlüssen gekommen: 1) Die Splanchnici sind nicht motorische Nerven für den Darm, weil die Peristaltik auch nach ihrer Durchschneidung fortdauert; 2) die Splanchnici majores können auch nicht derart als den Nn. Herzvagi ähnliche Hemmungsnerven für den Darm gedacht werden, weil nach ihrer Durchschneidung keine verstärkte Darmbewegung, Durchfall u. dergl. m. beobachtet werden.

Da wir aber schon wissen, dass der Vagus ein gemischter Nerv ist, so erscheint es uns, dass die erste Behauptung kaum einer strengen Kritik Stand hält.

Die gründlichste, den hemmenden Einfluss der Splanchnici auf die Darmperistaltik beweisende Untersuchung stammt zweifellos von Pflüger.[9]

---

[1] J. Müller, *Handbuch der Physiologie des Menschen.* 4. Aufl. 1844. S. 419.

[2] Longet, *Anatomie et Physiologie du système nerveux.* 1842. t. II. p. 612. 613.

[3] R. Hall, *Edinb. med. and surg. Journ.* 1846. Nr. 169. p. 338.

[4] Volkmann, Müller's *Archiv.* 1845. S. 414—425.

[5] Ludwig, *Lehrbuch der Physiologie.* Bd. I. p. 179. 1. Aufl.

[6] Ludwig und Kupfer, *Sitzungsberichte der Wiener Akademie.* 1857. Bd. XXV.

[7] Es ist zu bedauern, dass diese Autoren trotz der Maassregeln gegen die Abkühlung des Darmes die Darmbewegungen nach Eröffnung der Bauchhöhle beobachtet haben.

[8] Hafter, *Zeitschrift für rationelle Medicin.* N. F. IV. Bd. III. S. 322.

[9] Pflüger, *Ueber das Hemmungs-Nervensystem für die peristaltischen Bewegungen.* Berlin 1857.

Seine Versuche stellte er an Kaninchen an, welchen er, um den Darm beobachten zu können, die Bauchhöhle öffnete.

Reizte er das Rückenmark dieser Thiere, indem er eine Elektrode des Inductionsapparates im Niveau des 5.—6. Brustwirbels und die andere im Niveau des 10.—11. einsteckte, so bemerkte er Stillstand der Darmperistaltik und tetanische Contraction der Bauchmuskeln. Waren dagegen die Splanchnici vorher durchschnitten, so konnte er einen solchen Einfluss der Rückenmarksreizung auf die Darmthätigkeit nicht mehr constatiren. Die Durchschneidung anderer Nerven, des Vagus und des Phrenicus, liess das Resultat des Versuchs unverändert. Mit der Rückenmarksreizung bei intacten Splanchnicis gleiche Wirkung erzielte er durch die Reizung der Splanchnici selbst. Die hemmende Wirkung der Splanchnici erstreckte sich über den ganzen Dünn- und die oberen Abschnitte des Dickdarms. Andere Abschnitte des Dickdarms stellten ihre Bewegung nicht auf Splanchnicusreizung ein. Sorgfältige Beobachtung des Zustandes der Darmschlingen während der Splanchnicusreizung überzeugte Pflüger, dass der Darm erschlafft ist und zwar ist dabei sowohl die Längs- wie die Quermusculatur erschlafft.[1]

Wurde nicht mehr gereizt, so fingen die Darmschlingen wieder an sich zu bewegen, und zwar zuerst sogar stärker als vor der Reizung und nur allmählich stellte sich die gewöhnliche Darmbewegung wieder ein. Durch letztere Thatsache will Pflüger erklären, weshalb J. Müller und A. zu falschen Schlussfolgerungen gelangt sind und den Splanchnicus für den motorischen Nerven des Darmes hielten. Aller Wahrscheinlichkeit nach, bemerkt Pflüger, traten die von den Autoren bei der Splanchnicusreizung beobachteten Darmbewegungen erst nach der Reizung ein. Diese Voraussetzung erscheint ihm um so wahrscheinlicher, wenn man bedenkt, dass in früheren Zeiten, als man noch die Inductionsapparate nicht kannte, zur Reizung der Nerven gewöhnlich des galvanischen Stromes sich bediente, wobei man mit der Hand Schliessungen und Oeffnungen vollführte.

Auch mit der oben citirten Angabe von Ludwig und Kupfer, dass gleich nach dem Tode des Thieres der Splanchnicus Darmbewegung hervorrufen soll, ist Pflüger nicht einverstanden; denn in seinen Versuchen konnte er gleich nach dem Tode des Thieres durch Splanchnicusreizung noch die Darmperistaltik hemmen. Die Erscheinungen aber, welche nach-

[1] In Bezug auf diese Beobachtung müssen wir bemerken, dass in neuerer Zeit Ehrmann (vergl. seine Arbeit im *Wiener medicinischen Jahrbuch.* 1885. S. 111) im Laboratorium von Basch zu ganz anderen Schlüssen gelangte. Auf Grund seiner Versuche behauptet er, dass der Splanchnicus motorischer Nerv für die Längsmusculatur und Hemmungsnerv für die Quermusculatur des Darmes ist. Der Vagus wirke in dieser Hinsicht umgekehrt.

her, wenn durch postmortale Muskelcontraction die Blutgefässe des Darms schon entleert worden sind, auftreten, können nach Pflüger unmöglich die Thätigkeit des Nerven charakterisiren.[1]

Neuere Untersucher wie Keuchel[2] und Otto Nasse[3] bestätigen die Beobachtungen von Pflüger.

Bei unseren Untersuchungen über den Einfluss der Vagi auf den Darm haben wir aber schon gezeigt, dass derselbe neben erregenden auch hemmende Fasern enthält, weshalb der Splanchnicus in keinem Falle als einziger die Dünndarmperistaltik hemmender Nerv, wie Pflüger es will, gelten kann.

Was den Charakter des Splanchnicuseinflusses auf die Dünndarmthätigkeit anbetrifft, so zeigten unsere Versuche an N. splanchnicus major et minor, dass dieselben einerseits auf den Tonus und andererseits auf die rhythmischen und peristaltischen Bewegungen der Darmschlingen einwirken.[4]

Zum Beweis des ersten Einflusses dient die Curve Fig. 6 der Tafel VI. Erhalten vom Darm, welcher bis zur Reizung des Splanchnicus ruhig war und keine rhythmischen Contractionen ausführte, zeigt sie, dass zugleich mit der Splanchnicusreizung eine Erweiterung der Darmschlinge, folglich Nachlass des nach der Reizung sich allmählich wieder einstellenden Tonus eintritt. Es ist selbstverständlich, dass diese Wirkung des Splanchnicus um so deutlicher sich äussert, je stärker der Darmtonus war und umgekehrt um so schwächer, je ausgedehnter die Darmschlingen waren.

Die Splanchnicusreizung giebt auch bei durchschnittenen Vagis gleiches Resultat.

Obgleich die angeführte Wirkung der Splanchnicusreizung die gewöhnliche ist, so erhält man zuweilen doch bei zweifellos lebenden Thieren und sogar zu Anfang des Versuches einen ganz entgegengesetzten Effect, d. h. nicht Erweiterung, sondern Contraction der Darmschlinge. Diese Thatsache steht im stricten Widerspruch zu der Meinung Pflüger's und seiner Anhänger, welche den Splanchnicus für einen reinen Hemmungsnerven erklärt haben.

---

[1] In einer späteren Arbeit erklärt Pflüger die Resultate der Untersuchungen von Ludwig und Kupfer direct durch Reizung mittels Stromschleifen der Vagusfasern, folglich für fehlerhaft (vergl. *Untersuchungen aus dem physiologischen Laboratorium zu Bonn.* 1865).

[2] Keuchel, *Das Atropin und die Hemmungsnerven.* Dorpat 1868.

[3] O. Nasse, *Beiträge zur Physiologie der Darmbewegungen.* Leipzig 1866.

[4] Bei unseren Untersuchungen wurden die Splanchnici meist unterhalb des Diaphragma's hinter dem Bauchfell auspraeparirt; in einigen Versuchen wurden sie jedoch unmittelbar oberhalb des Zwerchfelles aufgesucht, zu welchem Zwecke wir die beiden untersten Rippen ausgesägt hatten.

Somit kommen wir auf Grund eigener Versuche zum Schluss, dass der Splanchnicus, wenn auch gewöhnlich einen hemmenden Einfluss auf die Darmthätigkeit ausübend, doch nicht als ausschliesslich hemmender Nerv aufgefasst werden darf, weil wenigstens in einigen Fällen sein Einfluss zweifellos ein gemischter, sogar erregender ist.

Der Splanchnicuseinfluss auf den Rhythmus und die Peristaltik des Darmes äussert sich in der Mehrzahl der Fälle durch das Einstellen dieser Bewegungen. Zuweilen ist aber der Reizungseffect des Splanchnicus complicirter.

So sieht man an der Curve Fig. 7 der Tafel VI, dass der Anfangs gehemmte Rhythmus sich wieder einstellt. Dabei sind die Darmcontractionen stärker als vor der Reizung, werden aber zeitweilig wieder schwächer und bald nach der Reizung hat der Rhythmus wieder seinen normalen Typus. Anzuführen ist, dass hierbei beide Vagi durchschnitten waren. Unserer Meinung nach muss im gegebenen Falle diese Verstärkung des Rhythmus nur auf die Erregung motorischer Fasern im Splanchnicusstamme zurückgeführt werden.

Will man im letzteren einen ausschliesslichen Hemmungs- und den Darmtonus herabsetzenden Nerven sehen, so könnte man die verstärkten rhythmischen Bewegungen als Folge der Ermüdung des Hemmungsapparates und Uebergewichtes des in dem Darm selbst befindlichen Erregungsapparates auffassen; doch wäre in solchem Falle unerklärbar, warum bei diesem Versuche die rhythmischen Bewegungen zu Ende der Splanchnicusreizung wieder verschwanden.

Reizt man mit einem gleichstarken Strom zugleich den Splanchnicus und den Vagus, so erhält man dieses oder jenes Resultat, je nachdem welcher Nerv erregbarer und in welcher Richtung jeder Nerv für sich thätig ist. Hatten wir durch Vagusreizung schon starke Darmcontractionen herbeigeführt und reizten nun den Splanchnicus, so verschwanden in vielen Fällen letztere und der Darm kehrte in den Zustand der Vagusreizung zurück (vgl. Curve Fig. 8 der Tafel VI). In solchem Falle hat man so zu sagen gegenseitige Aufhebung der Thätigkeit beider Nerven, in Folge dessen, trotz der fortgesetzten Reizung die Darmthätigkeit weder in dieser noch in jener Richtung verändert wird. Oefter aber erhält man keine solche gegenseitige Aufhebung der Thätigkeit beider Nerven. So zeigt die Curve Fig. 9 der Taf. VI, dass die in dem Augenblicke, wo die Darmschlinge durch Splanchnicusreizung erschlafft war, vorgenommene Vagusreizung nicht allein diese aufhebt, sondern auch noch starke Darmcontraction herbeiführt.

III. Ueber den Einfluss des Sympathicus auf die Darmbewegung.

Fast allgemeine Geltung hat gegenwärtig die Meinung, dass der Sympathicus mit Ausnahme des N. mesentericus inf., welcher bei seiner

Reizung starke Contractionen des Colon descendens und rectum hervorruft,[1] ohne Einfluss auf die Darmbewegung ist. Wenigstens führten die Versuche von Cl. Bernard[2] und O. Nasse, welche den Sympathicus in der Brusthöhle reizten, zu negativen Resultaten.[3] Die Darmbewegung aber, welche Volkmann, Valentin u. s. w. nach der Reizung des Brustsympathicus gesehen haben wollen, erklärt O. Nasse in derselben Weise wie Pflüger die bei der Reizung des Splanchnicus.

Die Reizung des Sympathicus in der Brusthöhle und seines obersten Abschnittes in der Bauchhöhle gab auch in unseren Versuchen kein beständiges Resultat. So hatte die Reizung des Sympathicus gleich oberhalb des Zwerchfells (unterhalb der Abgangsstelle der vorher praeparirten und durchschnittenen Splanchnici major et minor) in einem Versuch schwache Dünndarmcontractionen zur Folge. Dagegen rief in einem anderen, dem ersten ganz analogen Versuch die Sympathicusreizung mässige Erschlaffung des Dünndarms hervor. In wieder andern Fällen war das Resultat der Reizung ein negatives. Auf Grund dieser Thatsachen hat man offenbar zu schliessen, dass die Leitung zum Dünndarm nicht immer streng bestimmte Bahnen durch den Splanchnicus major und minor innehält, sondern in einigen Fällen noch im Sympathicusstamme selbst verläuft. Jedoch nach dem Effect der Sympathicusreizung zu urtheilen, enthält derselbe auch in solchen Fällen verhältnissmässig eine geringe Menge solcher Leiter.

Zweifellos erhalten sowohl der Sympathicus wie die Splanchnici ihre auf die Darmthätigkeit wirkenden Fasern aus dem Rückenmark und zwar durch jene Aeste, welche sie mit den Rückenmarksnervenwurzeln verbinden. Zur Ermittelung der Wurzeln aber, welche den Einfluss von den centralen Theilen auf die peripheren, die Bewegungen des Darmcanals beherrschenden, Stämme leiten, werden wir nach der Betrachtung der Gehirncentra für Darmbewegung schreiten.

IV. Einfluss der Gehirnrinde auf die Darmbewegung.

Ueber den Einfluss der Gehirnrinde auf die Darmbewegung sind unsere Kenntnisse noch sehr geringe und beschränken sich, soviel uns bekannt, fast nur auf die Untersuchungen von Bochefontaine.[4]

---

[1] O. Nasse, a. a. O. S. 8 und 9.

[2] Cl. Bernard, *Leçons de physiologie expérimentale* Paris 1856. t. II. p. 438.

[3] Es ist nöthig anzuführen, das Cl. Bernard auf Reizung des Gangl. stellatum bei unterhalb desselben durchschnittenem Sympathicus Darmbewegung beobachtete, während die Reizung des Sympathicus selbst in der Brusthöhle negative Resultate gab.

[4] Bochefontaine, *Archives de Physiologie normale et pathologique.* 1876. p. 164. Mit der Arbeit von J. Pal und J. Bergrün, „Ueber Centren der Dünndarminnervation" (s. *Medicinische Jahrbücher* 1888. Bd. VIII.), welche die hemmende Wirkung des G. sigmoides auf die Darmbewegung auf Grund der Durchschneidung der verschiedenen

Diesem Autor gelang es von der Gehirnoberfläche aus durch Reizung des 1, 4, 5, 11 und 17 Punktes von Ferrier (nach der Bezeichnung von Carville und Duret) peristaltische Bewegungen des Darm- und Dickdarms hervorzurufen. Diese Contractionen breiteten sich selten über alle Darmschlingen gleichmässig aus und waren ausserdem ungleich stark in den verschiedenen Abschnitten des Verdauungskanals: bei einer und derselben Reizung contrahirt sich bald das Duodenum, bald das Ileum stärker. Einige Male sah dieser Autor so starke peristaltische und antiperistaltische Dickdarmbewegungen, dass der Darminhalt hin und her bewegt wurde, jedoch ohne dass es zu Entleerung des Darms gekommen wäre.

Bei unseren Versuchen fanden wir, dass von der Gegend der Gehirnrinde auf der Sigmoïdalwindung und dieser von hinten und aussen anliegenden zweiten Urwindung aus durch Reizung mittels mässig starken[1] Faraday'schen Stromes Veränderungen in dem Zustand der Darmmusculatur erhalten werden können. Ausserdem konnten wir in einigen Versuchen Dickdarmbewegung bei der Reizung einzelner Punkte der Hinterhauptsgegend der Gehirnrinde beobachten. Dagegen blieb die Reizung der übrigen Abschnitte der Gehirnrinde, auch bei Anwendung bedeutend stärkerer Ströme ohne jeden Einfluss auf die Darmthätigkeit. Die Wirkung auf den Darm in Folge der Reizung der angeführten Gehirnrindengegenden äusserte sich gewöhnlich in Veränderung des Tonus der Darmwände und in Erregung oder Aufhebung der Peristaltik, beschränkte sich aber gewöhnlich nur auf bestimmte Darmabschnitte. Im Vergleich zu dem Reizungseffect der peripheren Nerven ist der Reizungseffect von der Gehirnrinde aus meist etwas schwächer. Ferner ist der Umstand beachtenswerth, dass das Latenzstadium der Erregung vom Gehirn aus viel länger ist als von den peripheren Nerven aus.

Wie die Curven lehren, verhält sich der Darm bei der Gehirnrindenreizung verschieden, bald erhält man Contraction und Erschlaffung des Dünndarms (Fig. 16 und die untere Curve in Fig. 17 der Taf. VII), bald Contraction und Erschlaffung des Dickdarms (Fig. 18 und die untere Curve in Fig. 20 der Taf. VII). Sehr oft kamen hierbei gleichzeitige und dem Charakter nach entgegengesetzte Veränderungen des Dünn- und Dickdarms zur Beobachtung. Als Beispiel mag Fig. 19 der Taf. VII dienen: die obere Curve zeigt Erschlaffung des oberen Dickdarmabschnittes, die untere — Duodenumcontraction.

Diese oder jene Darmwirkung der Gehirnrinde kann gewöhnlich von verschiedenen Punkten aus zur Beobachtung gebracht werden, aber diese

---

Abschnitte des Centralnervensystems und der Rindenexstirpation mit folgender Reizung der Nn. vagi beweisen, sind wir erst bekannt geworden, als dieser Artikel schon russisch zum Druck vorbereitet war.

[1] Bei unseren Versuchen kamen gewöhnlich solche Ströme in Betracht, welche an befeuchteten Fingerspitzen eine kaum bemerkbare Empfindung erzeugten.

Punkte sind im beschränkten Raum auf der Sigmoïdalwindung und dem derselben von hinten und aussen anliegenden Gehirnrindenabschnitt gelegen und behaupten nicht beständig ihre Lage, sondern verschieben sich nicht selten. Aus diesem Grunde können wir nicht auf der Gehirnoberfläche streng bestimmte Punkte angeben, welche Darmwirkung anregen, sondern wir können nur die Abschnitte, in welchen die Reizung dieser oder jener Punkte eine bestimmte Wirkung auf den Darm ausübt, bezeichnen.

Aus den angegebenen topographischen Abbildungen der vorderen Gehirnrindentheile (Taf. VIII) ersieht man klar die Resultate unserer Versuche in dieser Beziehung. Die wirksamen Abschnitte der Gehirnrinde sind in diesen Zeichnungen durch Striche schattirt, wobei die Stellen, von welchen aus die Wirkung mit grösserer Beständigkeit erhalten wurde, dunkler gehalten sind. Die in Fig. 1 der Taf. VIII schattirte Gegend umfasst alle Punkte, von welchen aus man Dünndarmcontractionen erhält. Erschlaffung des Dünndarms erzielten wir in unseren Versuchen von verschiedenen in der in Fig. 2 der Taf. VIII schattirten Gegend zerstreuten Punkten aus, und Erschlaffung des Dickdarms bei Reizung verschiedener Punkte in der in Fig. 3 der Taf. VIII schattirten Gegend.

Contractionen und Peristaltik des Dickdarms beobachten wir als zufällige Erscheinung bei der Erregung dieser oder jener Punkte der angegebenen Gehirnrindenabschnitte. Ausserdem erhielten wir, wenn auch selten, Contraction des Dickdarms wie angegeben, bei der Reizung des hinteren Abschnittes der Hemisphaerenrinde, hauptsächlich am Uebergang des Hinterhauptlappens in den Schläfenlappen (hinter dem hinteren Ende der Sylvischen Furche).

Wir können die Besprechung des Einflusses der Gehirnrinde auf den Darm nicht verlassen, ohne auf die besonders leichte Ermüdung der Gehirnrinde aufmerksam gemacht zu haben. Die Curven erhielten wir von der Gehirnrinde aus gewöhnlich nur zu Anfang eines Versuchs und dabei zu Anfang der Reizung dieser oder jener Gegend.

Sehr oft geschah es, dass die Wiederholung der Reizung einer Gegend, von welcher aus anfänglich ein sehr gutes Resultat erhalten worden war, effectlos blieb oder nur einen sehr schwachen Effect gab.

Diese leichte Ermüdung der Gehirnrinde ist offenbar noch von Nebenumständen abhängig, z. B. von ihrer Abkühlung und Austrocknung, vom grösseren oder geringeren Blutverlust bei der Oeffnung des Schädels und Durchschneidung der Dura mater. Besonders bemerkbar setzt die Gehirnrindenthätigkeit die Blutung aus den in den Sinus longitudinalis sich ergiessenden Gehirnvenen herab, wenn dieselben irgend wie während der Operation beschädigt werden.

Die Unbeständigkeit der Resultate der Gehirnrindenreizung wird im gewissen Sinne, wie es scheint, ebenfalls durch die erstaunlich schnelle Ermüdung ihrer Function erklärlich.

V. Einfluss der Sehhügel auf die Darmbewegung.

Ueber den Einfluss der centralen Hirntheile auf die Darmbewegung haben wir ebensolche, wenn noch nicht beschränktere Kenntnisse wie über den Einfluss der Gehirnrinde. Wir können hier besonders auf die experimentelle Arbeit zweier englischer Forscher, J. Ott und G. W. Wood Field[1] hinweisen.

Durch zwei kleine Oeffnungen im Schädel führten sie in das Gewebe der Sehhügel Elektroden und fanden, dass diese Gebilde hemmende Centra für die Darmthätigkeit und die Schliesser der Harnblase und des Mastdarms enthalten. Sogar schwache Reizung der Sehhügel hemmte schon in den Versuchen dieser Autoren die peristaltischen Bewegungen des Dünndarms. Dagegen hemmte die Reizung der Hirntheile vor und hinter dem Sehhügel die Darmbewegungen nicht; die Durchschneidung aber der hinter dem Sehhügel gelegenen Hirntheile hatte bei der Katze verstärkte Darmperistaltik zur Folge.

Desgleichen beobachtete einer von uns (Bechterew) bei seinen Arbeiten über die Functionen der Sehhügel nicht einmal, wie in demselben Moment, als die hinteren Sehhügeltheile geschnitten oder zerstört wurden, bei verschiedenen Thieren (Vögel, Kaninchen, Hunde) Blase und Kothentleerung stattfand.[2] Bechterew sah ferner bei Vögeln nach Entfernung der Hirnhemisphaere sammt den Sehhügeln das Futter im Kropf liegen bleiben und recht bald ernste Verdauungsstörungen auftreten, so dass sie auch bald infolge ungenügender Ernährung zu Grunde gehen. Dagegen zeigen Vögel mit entfernten Hemisphaeren, aber intacten Sehhügeln diese Erscheinungen nicht und können bei künstlicher Fütterung bekanntlich längere Zeit leben.

Bei unseren gemeinschaftlichen Versuchen reizten wir verschiedene Abschnitte der centralen Gehirntheile auf folgende Weise.

Nach Entfernung der Schädeldecke tragen wir meist von einer Hirnhemisphaere den oberen Theil bis zur Eröffnung des Seitenventrikels ab.

---

[1] S. Ott and G. W. Wood Field, *The Journal of nervous and mental diseases.* 1879. Nr. 4. p. 654. Referirt im *Centralblatt für Nervenheilkunde.* 1880. Nr. 1.

[2] Bechterew, Ueber die Function der Sehhügel bei Thieren und Menschen. *Bote für klinische und gerichtliche Psychiatrie.* 1886. S. 151. (Russisch). — S. auch Virchow's *Archiv.* 1887. Bd. CX. S. 339. In dieser Arbeit findet sich auch folgender Hinweis auf den Einfluss der Sehhügel auf die Darm- und Harnblasensecretion: „Da Durchschneidung der Sehhügel und sogar Abtragung der Grosshirnhemisphaeren bis zu diesen Gebilden an Kaninchen von keinem wahrnehmbaren Einfluss auf die Function der Harnblase und des Mastdarms sich erweist, so scheint es mir möglich, diese Thatsachen als Beweis dafür anzusehen, dass für die excretorischen Functionen besondere Centren vorhanden sind, und zwar aller Wahrscheinlichkeit nach in den Sehhügeln selbst."

Somit wurde die Oberfläche des Nucleus caudatus, der oberste Abschnitt der Capsula interna und die Sehhügelgegend freigelegt. Um den Eintritt von Blut in den 3. Ventrikel zu vermeiden, liessen wir letztere vom Fornix bedeckt bleiben. In der Hemisphaerensubstanz, unmittelbar nach aussen von der Capsula interna blieb der Nucleus lentiformis verborgen. War hierauf die Blutung gestillt, so schritten wir zur Reizung, indem wir in diesen oder jenen Hirntheil zwei parallele nahe aneinanderstehende Nadeln, Elektroden des du Bois-Reymond'schen Schlittenapparates, einstachen.

Der Strom war in unseren Versuchen stets von solcher Stärke, dass die Elektroden, auf die Zunge gelegt, nur schwach reizten. Zur näheren Ortsbestimmung der Reizung, von welchem aus diese oder jene Wirkung erzielt worden war, wurde das Hirn der operirten Thiere in Spiritus gehärtet und dann mit Hülfe eines Mikrotoms in Schnitte zerlegt, um die Einstichstellen genau angeben zu können. Selbstverständlich eigneten sich hierzu vorzugsweise solche Hirne, in welche während des Versuchs nur ein einziger Einstich gemacht worden war, also nur zwei blutige Spuren der Elektroden aufzuweisen hatten. Abbildungen von solchen Schnitten haben wir in der Taf. VIII zur Ansicht vorgelegt.

Es erwies sich, dass von centralen Hirnpartien nur der Sehhügel bei Reizung Veränderungen der Darmbewegung giebt, während eine solche des N. caudatus im ganzen Umfange, des grössten Theiles der Capsula interna, des Gewölbes und des linsenförmigen Kerns ganz erfolglos bleibt.

Dabei wurde festgestellt, dass die Reizung der verschiedenen Abschnitte des Sehhügels verschiedene Wirkung auf die Darmbewegung hat. So erhielten wir bei der Reizung des äusseren Sehhügelabschnitts (der Lage des äusseren Kernes entsprechend; vgl. Fig. 5 der Taf. VIII) Erschlaffung des Dünndarms (Fig. 12 der Taf. VII) mit Aufhebung der Peristaltik und zuweilen sogar mit Aufhebung oder Schwächung ihrer rhythmischen Bewegungen (Fig. 11, Taf. VII). Dagegen gab die Reizung des mittleren Sehhügeltheiles, etwas nach innen von der vorhergehenden Stelle (Fig. 9, Taf. VIII) in einigen Versuchen Contraction des Dünndarms und Erregung oder Verstärkung seiner rhythmischen und peristaltischen Bewegungen (Fig. 10, Taf. VII).

Was die Dickdarmwirkung anbetrifft, so erhielten wir bei der Sehhügelreizung gewöhnlich sehr starke Contraction und Erregung der Peristaltik, welche zuweilen sogar zur Kothentleerung führte (Fig. 14, Taf. VII). Dieses Resultat hatten wir jedesmal, wenn wir den vorderen äusseren Sehhügelabschnitt in der nächsten Nachbarschaft mit dem die Erschlaffung des Dünndarms gebenden Punkte reizten (Fig. 6, Taf. VIII).

Von demselben Sehhügelabschnitt (Fig. 7, Taf. VIII) erhielten wir in unseren Versuchen nicht selten Erschlaffung des Dünndarms zugleich mit der Contraction des Dickdarms (Fig. 13, Taf. VII), was zweifellos durch die

nächste Nachbarschaft beider Punkte erklärt wird. Endlich, in einem Versuch, konnten wir bei der Reizung des hinteren Sehhügelabschnittes (Fig. 8, Taf. VIII) einige Male Erschlaffung des Dickdarms, welche bald nach einer anfänglichen schwachen, unterbrochenen Contraction desselben auftrat, erhalten.

Das Dargelegte beweist, dass in den Sehhügeln, gleich den dort vorhandenen Centren für Harnblaseninnervation,[1] noch Centra für die Darminnervation enthalten sind. Ebenso wie in der Hirnrinde finden sich hier Centra für Contraction und Erschlaffung des Dünndarms und ebensolche für den Dickdarm.

Ausser ihrer Bedeutung als wichtige Reflexorgane für die Darmthätigkeit, wie unter Anderem auch die oben angeführten Versuche mit Durchschneidung und Zerstörung der Sehhügel es beweisen, vermitteln die Centra für die Darmbewegung in den Sehhügeln offenbar den Einfluss höher gelegener Centra in der Hirnrinde auf den Zustand und die Thätigkeit des Darmcanals.

VI. Ueber die Bahnen von den Hirncentren zu den peripheren, auf die Thätigkeit des Darmcanals einwirkenden Nerven.

Was die Frage über die Bahnen, auf welchen der Einfluss der Hirnrinde und der Sehhügel zum Darm gelangt, anbetrifft, so kann man schon aus den angegebenen Thatsachen voraussetzen, dass einerseits die Vagi, andererseits das Rückenmark und die aus demselben hervorgehenden Fasern des sympathischen Nervensystems die Leitung übernehmen.

In unseren Versuchen konnten wir uns überzeugen, dass die durch die Reizung des Sehhügels herbeigeführte Darmcontraction mittels Durchschneidung beider Vagi aufgehoben wurde. Doch fanden sich auch Ausnahmen von dieser Regel. In einem Falle konnten wir auch nach der Durchschneidung der Vagi ganz deutliche Dünndarmcontraction durch die Reizung des Sehhügels hervorrufen. Offenbar kann dieses Resultat nur dadurch erklärt werden, dass in diesem Falle der Einfluss der Sehhügel nicht allein durch die Vagi, sondern auch durch die Splanchnici (oder den Sympathicus), in welchen, wie wir gesehen, ebenfalls erregende Fasern enthalten sind, auf den Darm vermittelt wurde.

Andererseits hörte die durch die Reizung des Sehhügels herbeigeführte Erschlaffung des Dünndarms in unseren Versuchen gewöhnlich erst nach

[1] Vergl. unsere Arbeit: „Die Hirncentra der Harnblasenbewegung“ im *Archiv für Psychiatrie, Neurologie und gerichtliche Psychopathologie.* 1888. (Russisch) und *Neurologisches Centralblatt.* 1888.

Durchschneidung des Rückenmarks in der oberen Brust- oder Halsregion auf und konnte dagegen nach der Durchschneidung der Vagi, wenn das Rückenmark unversehrt war, noch beobachtet werden. In anderen Fällen gelang es uns aber den hemmenden Einfluss auf den Darm schon durch die Durchschneidung der Vagi aufzuheben. Diese Verschiedenheit der Resultate in den einzelnen Versuchen kann ebenfalls durch den nicht immer gleichen Gehalt an Hemmungsfasern in den Vagi erklärt werden.

Die Dickdarmwirkung nach der Reizung dieser oder jener Hirntheile liess die Vagusdurchschneidung in unseren Versuchen unbehelligt, hörte aber ausnahmslos auf, wenn das Rückenmark durchschnitten war. Dieser Umstand wird dadurch erklärt, dass der Dickdarm hauptsächlich durch die Rückenmarkswurzeln innervirt wird und die Vagi einen schwachen Einfluss auf die Dickdarmbewegung haben, wie das ja klar aus unseren Versuchen mit der Vagusreizung hervorgegangen ist.

Es bleibt uns noch übrig, hier den Einfluss der Reizung der Rückenmarkswurzeln auf die Darmthätigkeit zu besprechen.

In unseren Versuchen erzielten wir vom 6.—13.[1] Brust- und vom ersten Lendennerven aus die Wirkung auf den Dünndarm und von allen übrigen Lenden- und den drei obersten Kreuzbeinnerven aus solche auf den Dickdarm.

Beim Dünndarm sahen wir hierbei gewöhnlich eine ausgeprägte Erschlaffung mit Aufhören der rhythmischen und peristaltischen Bewegungen, wenn wir den 9., 10., 11. und 12. Brustnerven reizten. Von den oberhalb gelegenen Brustnerven bis zum 6. mit einbegriffen, war die Wirkung verschieden und nicht scharf ausgeprägt. In einem Versuche gab die Reizung des 6. Brustnerven Dünndarmcontraction und das noch nach Durchschneidung des Splanchnicus, wobei aber der Sympathicus unversehrt war. In einem anderen Falle sahen wir Dünndarmcontraction bei der Reizung der 2 letzten Brust- und des 1. Lendennerven.

Endlich erhielten wir gewöhnlich bei der Reizung der Lendennerven, angefangen vom 2. und der 3 obersten Kreuzbeinnerven Dickdarmcontractionen. Dabei war die Wirkung besonders stark, wenn die unteren 2 Lendennerven (6. und 7.) und die oberen 3 Kreuzbeinnerven gereizt wurden (vgl. Curve Fig. 15, Taf. VII).

Fassen wir das über die Darminnervation Gesagte kurz zusammen, so kommen wir zu folgenden Schlussfolgerungen:

1. Der normale Darmtonus, ebenso wie sein Rhythmus und seine Peristaltik, wird durch die Thätigkeit der peripheren Nervenapparate, welche in der Darmwandung selbst vorhanden sind, unterhalten.

---

[1] In einem Versuche hatten sogar einige höher gelegene Brustnerven noch einen Einfluss auf den Darm.

2. Ausserdem wird sowohl der Dünn- wie der Dickdarm auch von den Vagis und dem sympathischen Nervensystem aus innervirt.

3. Die Vagi versehen hauptsächlich den Dünndarm und theilweise den obersten Abschnitt des Dickdarms.

4. Ihrer Wirkung nach sind die Vagi gemischte Nerven, meist haben sie jedoch einen vorzugsweise erregenden Einfluss.

5. Die Splanchnici, obwohl gewöhnlich einen hemmenden Einfluss auf die Darmthätigkeit äussern, können dennoch nicht als ausschliessliche Hemmungsnerven des Darmes angesehen werden.

6. Die Wirkung des Brustsympathicus auf die Darmbewegung ist unbeständig.

7. Im Hirn sind die Centra für Darmbewegung in der Hemisphaerenrinde hauptsächlich auf der Sigmoïdal- und der ihr hinten und aussen anliegenden 2. Urwindung, und in den Sehhügeln concentrirt.

8. Sowohl in der Hemisphaerenrinde wie in den Sehhügeln existiren besondere Centra für Contraction und Erschlaffung des Dünndarms und gleiche für den Dickdarm.

9. Der Einfluss der Hirncentra wird dem Darm theils durch die Vagi, theils durch das Rückenmark und durch die aus dem letzteren zum sympathischen Nervensystem tretenden Fasern übermittelt.

10. Die den Dünndarm innervirenden Fasern des sympathischen Nervensystems gehen beim Hunde von den Brustnerven, hauptsächlich vom 6. bis 13. Brust- und vom 1. Lendennerven aus, und die den Dickdarm innervirenden von allen übrigen Lendennerven und den 3 Kreuzbeinnerven, hauptsächlich aber vom 6. und 7. Lenden- und 1., 2. und 3. Kreuzbeinnerven.

Vorliegende Abhandlung war für eine Sammlung wissenschaftlicher Arbeiten zur Erinnerung an das 25jährige Dienstjubiläum des hochverehrten Nicolai Kovalewsky, Professor für Physiologie zu Kasan, bestimmt.[1] Eine angenehme Pflicht ist es, ihm, als einem Leiter des Laboratoriums, welches uns für diese und andere gemeinschaftlich von uns ausgeführte Arbeiten den Platz und die Hülfsmittel gegeben hat, hier unseren warmen Dank auszusprechen.

[1] Siehe *Arbeiten der Gesellschaft der Naturforscher zu Kasan.* 1889. Bd. XX.

Erklärung der Abbildungen.

(Taf. VI—VIII.)

Taf. VI. Fig. 1. Vagusreizung. Die obere Curve zeigt Duodenumcontraction, die untere Contraction des Dickdarms in der Nähe des Coecums.

Figg. 2, 3, 4 und 5. Vagusreizung. Duodenumcontractionen.

Fig. 6. Splanchnicusreizung. Erschlaffung des Duodenums.

Fig. 7. Splanchnicusreizung. Duodenumcontraction.

Fig. 8. Anfangs Vagusreizung (Anfang der Reizung durch einen Strich an der Abscisse bezeichnet), hierauf (bei der Erhebung der Abscisse) Splanchnicusreizung auf derselben Seite. Die Curve zeigt Duodenumbewegung.

Fig. 9. Anfangs Splanchnicusreizung, hierauf Vagusreizung, deren Anfang ein Strich an der Abscisse bezeichnet. Die Curve zeigt Duodenumbewegung.

Taf. VII. Figg. 10—14. Reizung verschiedener Sehhügelabschnitte. Die Curve Fig. 10, 11 und 12 stammen vom Duodenum, die obere in Fig. 13 bringt Dickdarmcontraction, die untere solche vom Duodenum zur Ansicht. Vor der Reizung waren hier die Vagi durchschnitten worden. Fig. 14 zeigt die Contraction des Colon descendens.

Fig. 15. Reizung des letzten Lendennerven. Die Curve zeigt Dickdarmcontraction.

Fig. 16, 17, 18 und 19. Die Reizung des vorderen Theiles der Hemisphaerenrinde. Die Curve Fig. 16 stammt vom Duodenum; die in Fig. 18 vom Colon descendens; die oberen Curven in Fig. 17 und 19 stammen vom Dick-, die unteren vom Zwölffingerdarm.

Fig. 20. Reizung der Rinde in der Hinterhauptsgegend. Die obere Curve zeigt Dickdarmcontraction, die untere stammt vom Duodenum.

Taf. VIII. Figg. 1—4. Schematische Ansicht des vorderen Theiles der linken Hemisphaerenoberfläche des Hundehirns, auf welchem die den Darm innervirenden Gegenden zu sehen sind. Die in Fig. 21 durch Striche schattirte Gegend bewirkt Erschlaffung des Dickdarms, die in Fig. 22 Dünndarmcontraction, die in Fig. 23 aber Dünndarmerschlaffung. In Fig. 24 ist vergleichshalber die motorische Gegend nach Bechterew durch Punkte bezeichnet (s. seine Arbeit: „Physiologie der motorischen Hirnrindengegend" im Archiv für Psychiatrie, Neurologie und gerichtliche Psychopathologie (russisch) pro 1886 und besonders gedruckt (auch russisch) 1877, p. 22.)

Fig. 5–9. Genaue Zeichnungen von den aus dem Hirn operirter Thiere angefertigten Schnitten, wobei die Einstichstellen der Elektroden schwarz gehalten sind.

Die Curven gehen von links nach rechts.

Optische Urtheilstäuschungen.

Von

Dr. F. C. Müller-Lyer.

(Hierzu Taf. IX.)

Bei Versuchen über optische extensive Unterschiedsempfindlichkeit bin ich auf folgende Urtheilstäuschungen gestossen:

1.

Lässt man den einen Schenkel eines Winkels von 0° bis 180° wandern, so erscheinen die beiden Schenkel des Winkels um so länger, je grösser der Winkel wird.

Die Schenkel eines spitzen Winkels erscheinen also kürzer, die Schenkel eines stumpfen Winkels länger als die eben so langen Schenkel eines rechten Winkels.

In Fig. 1 wird man die Schenkel des stumpfen Winkels von 135° für länger halten als die Schenkel des spitzen Winkels von 45°.[1]

In dieser Form ist die Täuschung zwar deutlich und constant, doch nicht sehr stark. Man kann aber durch Häufung des Trugmotivs die Intensität der Täuschung erhöhen und zwar, indem man an zwei gleich langen Linien möglichst viele Schenkel in entgegengesetzter Richtung anbringt. Fig. 2 a bis g.

Diese Figuren geben Veranlassung zu einigen quantitativen Bestimmungen.

[1] Von manchen Personen werden, auch bei binocularem Sehen, wagerechte Distanzen verschieden gross geschätzt, je nachdem sie auf der rechten oder linken Seite des Gesichtsfeldes liegen (Kundt, Poggendorff's *Annalen* 1863. Bd. CXX. S. 118). Um diese Täuschung eventuell auszuschliessen, empfiehlt es sich, die folgenden Zeichnungen, in denen wagerechte Distanzen zu vergleichen sind, auch so zu drehen, dass die Seiten vertauscht werden.

1) Einfluss der Winkelgrösse. Wie man in den Figuren 2a bis g bemerkt, nimmt die scheinbare Länge der senkrechten Linien mit wachsender Winkelgrösse stetig zu.[1] Um über das Abhängigkeitsverhältniss, welches zwischen diesen beiden Grössen besteht, Näheres zu erfahren, wurden bei verschiedener Winkelgrösse die scheinbaren Distanzen der Winkelscheitel durch zwei Bleistiftpunkte auf einem Bogen Papier markirt. Die Mittellinien der Figuren standen dabei senkrecht und die Notirung der scheinbaren Distanz fand senkrecht darunter statt. Die wirkliche Länge der Linie betrug 38 mm. Aus zehn Bestimmungen ergaben sich folgende Mittelwerthe, in Millimetern:

Winkelgrösse	30°	60°	90°	120°	150°
Scheinbare Distanz	33·3	36·8	39·8	45·5	48·5

Bei einem zweiten, völlig unbefangenen Beobachter waren die Werthe:

Winkelgrösse	30°	60°	90°	120°	150°
Scheinbare Distanz	31·3	34·3	36·9	38·5	40·8

In beiden Reihen zeigt sich ein stetiges Anwachsen der scheinbaren Linienlänge bei Zunahme der Winkelgrösse. Im Uebrigen sind die Zahlen in der einen und anderen Versuchsreihe so verschieden, dass man von einer näheren Praecisirung der fraglichen Function im Allgemeinen wohl absehen muss. Da die zusammengehörigen einzelnen Werthe in den sämmtlichen Notirungen jedes einzelnen Beobachters sehr gut zusammenstimmten, ist wohl anzunehmen, dass die Täuschung bei verschiedenen Personen ziemlich grossen individuellen Schwankungen unterworfen ist. Bemerken möchte ich nur dazu, dass, wie eine grosse Anzahl von Bestimmungen ergeben haben, die Ueberschätzung der Linien bei 90°, Fig. 2 d, ebenso wie die der Seiten eines Quadrates, bei mir völlig constant ist. Doch ist dieser Fehler vielleicht in ähnlicher Weise individuell wie der constante Fehler, der bei manchen Personen bei der Halbirung wagerechter Linien vorkommt.

2) Einfluss der Schenkellänge. Die Täuschung tritt um so mehr hervor, je kürzer die zu der Mittellinie stumpfwinklig geneigten Schenkel

[1] Auch die scheinbare Länge der Schenkel ist verschieden, je nachdem dieselben ter sich spitzere oder stumpfere Winkel bilden.

und je länger die dazu spitzwinklig geneigten Schenkel sind; letztere natürlich bis zum Zusammenstoss.

Sind aber die sämmtlichen Schenkel gleich lang, so wie in den hier gezeichneten Figuren, so tritt ein Einfluss ihrer absoluten Länge nicht deutlich hervor.

3) Intensität der Täuschung. Die oben angegebenen scheinbaren Distanzen waren in meinen Bestimmungen für Winkel von 30° und 150° 33·3 mm und 48.5 mm; in denen des zweiten Beobachters 31·3 und 40·8. Sie verhielten sich also wie 1:1·41 bez. 1:1.33. Für Winkel von 45° und 135° erhielt ich ein Verhältniss von 1:1·32, also etwa wie 3:4.

Geringer stellte sich die scheinbare Differenz bei folgendem Vergleichungsverfahren heraus. Zeichnete ich in Fig. 2 b die senkrechte Linie successive länger und länger, so schätzte ich sie der senkrechten Linie in Fig 2 f gleich, wenn sie sich zu dieser verhielt, wie 5:4 (von 135° und 45°). Werden die Winkel sehr spitz gezeichnet und zugleich die Schenkel der stumpfwinklig begrenzten Linien thunlichst verkürzt, während die Schenkel der spitzwinklig umgrenzten Linie bis zum Zusammenstoss verlängert waren, wodurch ein Maximum der Täuschung erzielt wird, so verhielten sich bei diesem Verfahren die gleichgeschätzten Linien etwa wie 3:4.

Formen. Wenn Linien überall da, wo sie unter schiefem Winkel in der angegebenen Weise zusammenstossen, in ihrer Länge geändert erscheinen, so muss uns wohl die Täuschung alltäglich unter den mannigfachsten Formen entgegentreten; einige dieser Formen mögen kurz namhaft gemacht werden.

Entfernt man die senkrechten Linien in Fig. 2, so bleibt die Täuschung für die Distanz der Winkelscheitel in gleicher Stärke bestehen. Ebenso kann man von den vier Schenkeln einen bis zu drei Schenkel in jeder beliebigen Anordnung weglassen; die Täuschung bleibt in den daraus resultirenden Figuren, wenn auch in verminderter Stärke, stets deutlich.

Eine und dieselbe Linie erscheint kürzer wenn sie eine Seite eines Dreiecks als wenn sie eine Seite eines Quadrates bildet und länger, wenn sie einem regelmässigen Fünfeck angehört u. s. w. Sie erscheint überhaupt um so grösser, je mehr Seiten das regelmässige Polygon zählt, dem sie angehört.

Die Wände eines Hauses, welches von einem spitzen Dach bedeckt ist, werden für höher gehalten, als die gleich hohen Wände eines Hauses mit ebenem Dach.

Wenn zwei gleich lange Linien die Diagonalen zweier Polygone sind, so erscheint diejenige Diagonale kürzer, welche zwei spitzere Winkel verbindet; und stets kürzer, als eine gleich lange daneben gezeichnete Linie.

Damit ist nun der Uebergang gegeben zu einer Täuschung, die schon mehrfach in der Litteratur erwähnt worden ist, aber bis jetzt vereinzelt dastand: Den Durchmesser eines Kreises schätzt man kleiner, wenn er in den Kreis, als wenn er neben den Kreis gezeichnet wird. Um den Uebergang zu bewerkstelligen, hat man nur ein regelmässiges Polygon mit einer Diagonale durch fortwährende Vermehrung der Seitenzahl in einen Kreis übergehen zu lassen; denn auch wenn die Schenkel der Fig. 2 durch Kreisbogen ersetzt werden, bleibt die Täuschung bestehen. Fig. 3.

U. s. w.

Versuchen wir nun eine Erklärung der Täuschung, so dürfte Folgendes naheliegen: Man hält die beiden Linien für verschieden gross, weil man bei der Abschätzung nicht nur die Linien selbst, sondern unwillkürlich auch einen Theil des zu beiden Seiten derselben abgegrenzten Raumes mit in Anschlag bringt.

Zu dieser Erklärung stimmt zunächst die Abhängigkeit der Täuschung von der Winkelgrösse. Denn der um die Linie abgegrenzte Raum ist um so grösser bez. kleiner, je stumpfer bez. spitzer die fraglichen Winkel sind.

Dazu stimmt ferner der Einfluss, den die Länge der Schenkel auf die Stärke der Täuschung ausübt; denn der Raum um die Linie wird um so kleiner, je länger die Schenkel bei spitzem Winkel und je kürzer die Schenkel bei stumpfem Winkel sind.

Für diese Erklärung spricht dann ausserdem noch, dass auch andere Raumumgrenzungen um die Linie, ohne Winkelbildung, ähnliche Täuschungen herbeizuführen vermögen. So z. B. wird man in Figur 4 die von zwei kürzeren Parallellinien begleitete Mittellinie für kürzer halten als die darüber gezeichnete gleich lange zweite, die von den sie begleitenden Linien überragt wird.

Eine ähnliche irreführende Beeinflussung des Urtheils durch nebenhergehende Eindrücke liegt auch bei anderen Täuschungen vor. So werden z. B. zwei gleich grosse Extensionen für verschieden gross gehalten, wenn sie von verschieden grossen Extensionen umgeben sind. In Fig. 5 scheint das Mittelfeld zwischen den beiden Oblongen breiter als das gleich grosse Mittelfeld zwischen den beiden Quadraten. Dasselbe zeigt sich bei Winkeln, Fig. 6 und Linien, Fig. 7. Ebenso schätzen wir, auf intensivem Gebiet, zwei gleiche Helligkeiten verschieden hell, wenn sie sich von ungleichem Grund abheben. Analysirt man die Erscheinung, so zeigt sich, dass nicht die beiden Helligkeiten bez. Extensionen allein mit einander verglichen werden; auch nicht die beiden Unterschiede allein; die Täuschung müsste in letzterem Fall in Fig. 5 bis 7 ungemein viel stärker sein; sondern es

spielt sich, wie ich glaube, ein Doppelurtheil ab, dessen einer Bestandtheil als ein Urtheil erster Ordnung (zwei Empfindungen und eine Unterschiedsempfindung), und dessen anderer Bestandtheil als ein Urtheil zweiter Ordnung (zwei Unterschiedsempfindungen erster Ordnung, eine Unterschiedsempfindung zweiter Ordnung) bezeichnet werden kann.

In unserem Falle dagegen wird das Doppelurtheil einfach aus zwei sich theilweise addirenden Urtheilen erster Ordnung gebildet.

Jedenfalls, wie man sich nun auch den psychophysischen Process vorstellen möge, wirkt bei jenen sogenannten Contrasterscheinungen der das Urtheil beeinflussende Eindruck gerade in dem entgegengesetzten Sinne als wie bei unserer Täuschung: dort vermindert der stärkere Eindruck den Eindruck, den er begleitet, hier verstärkt er ihn. Man kann deshalb, den Contrasttäuschungen gegenüber, die hier erörterten Erscheinungen als Confluxionstäuschungen bezeichnen.

2.

Zeichnet man zwei gleiche Quadrate und entfernt bei dem einen die obere oder untere, bei dem anderen die rechte oder linke Seite, so wird man nun das nach oben oder unten offene Quadrat für höher und schmäler halten, als das andere. Fig. 8.

Der scheinbare Unterschied tritt noch etwas mehr hervor, wenn man die beiden Quadrate aneinander legt, wie in Fig. 9 oder auch wenn man zwei entgegengesetzte Seiten in der angegebenen Weise entfernt. Noch etwas stärker wird die Täuschung, wenn die beiden Quadrate so nebeneinander gezeichnet werden, dass der zwischen ihnen liegende Raum abermals ein gleiches Quadrat vorstellt.

In Fig. 10 *a* scheint das Mittelfeld, für sich betrachtet, höher und schmäler, als die beiden flankirenden Quadrate und beträchtlich höher und schmäler als das nach oben und unten geschlossene Mittelfeld der Fig. 10 *b*. Ferner erscheint auch die Figur *a* als Ganzes höher und weniger breit, als Figur *b*.

Was vom Quadrat gilt, gilt auch von anderen geradlinigen Figuren (Rhomben, Oblonge, u. s. w.) wie nicht näher auszuführen. Doch sollen die Verhältnisse bei krummlinigen Figuren, besonders beim Kreis, noch kurz erwähnt werden.

Unterbricht man einen Kreis an einer oder mehreren Stellen, so bewirkt man dadurch eine scheinbare Abflachung der übrig bleibenden Bogentheile; in Folge dessen hat man den Eindruck, als ob diese Bögen nicht demselben, sondern grösseren Kreisen zugehörten und von ihren Verlängerungen erwartet man nicht, dass sie kreisförmig ineinander übergehen,

sondern dass sie sich unter stumpfen Winkeln schneiden werden. Fig. 11 *a* und besonders Fig. 11 *b*.

Es ist eine allgemein bekannte Täuschung, dass ein Halbkreis abgeflacht aussieht, sodass man ihn nicht für einen halben Kreis, sondern für den kleineren Bruchtheil eines grösseren Kreises hält.

Ein offener Kreisbogen (Fig. 12) erscheint gewölbter und kürzer (d. h. als Bogenlänge) als ein anderer gleicher Bogen, der durch die zugehörige Secante geschlossen ist. Die scheinbare Distanz der Endpunkte ist in beiden Figuren gleich.

Aehnlich wie der Kreis verhalten sich in mehr oder minder deutlicher Weise alle krummlinig begrenzten Figuren; sodass man also, die kurz zuvor erwähnten Täuschungen bei den geradlinig begrenzten Figuren mit einschliessend, im Allgemeinen sagen kann, dass, wenn die Grenzlinien von Figuren unterbrochen werden, sich dann auch die scheinbare Form der übrig bleibenden Grenzen ändert.

Was die Erklärung dieser Täuschungen betrifft, so lassen sich, wie ich glaube, zunächst die Kreistäuschungen (und die bei krummlinigen Figuren auftretenden) aus dem sub 1) erwähnten Trugprincip ableiten.

Wie wir dort sahen, ist die scheinbare Länge der Winkelschenkel von der Winkelgrösse abhängig. Um nun den Uebergang zwischen beiden Erscheinungen herzustellen, so ersetzen wir zuerst die verticalen Linien in Fig. 2 durch Kreisbögen, an deren Endpunkten wir je einen Schenkel belassen; ein zweiter ist überflüssig.

So kommen wir zunächst zu Fig. 13 *A*. Lassen wir die Schenkel in der Richtung der Pfeile wandern, bis sie in die Position wie etwa in Fig. 13 *B* gelangen, so wird sich dadurch ganz wie in Fig. 2 die scheinbare Distanz zwischen den Endpunkten des Bogens *a* und *b* zusammenziehen; einer diese Endpunkte verbindenden Linie bedarf es, wie oben erwähnt, nicht. Der Bogen in Fig. 13 *B* erscheint also jetzt verkürzt und da für eine scheinbare Dislocation des Bogentheils bei *c* ein Grund nicht vorliegt, so erscheint er in *B* zugleich convexer als in *A*. Nun brauchen wir nur noch die geraden Linien der Fig. 13 in Kreisbögen zu verwandeln, die ja mit dem übrigen Bogen zusammen unter Umständen auch einen einzigen Kreis bilden können, und der Uebergang ist vollendet. Denn dass auch Kreisbögen scheinbare Distanzveränderungen nach Art der Winkelschenkel hervorrufen können, haben wir ebenfalls schon oben bemerkt.

Es geht nun daraus auch hervor, dass jeder Theil des Kreises eine scheinbare Verkürzung seiner beiden Nachbartheile bewirkt, woraus folgt, dass wir jeden Bogentheil im Kreis zu convex und also den ganzen Kreis zu klein sehen müssen.

In entsprechender Weise lassen sich die sämmtlichen Kreistäuschungen erklären.

Anders liegt die Sache beim Quadrat. Versucht man hier die Erscheinungen zu analysiren in der Weise, wie dies soeben beim Kreis geschehen ist, so stösst man auf Schwierigkeiten. Zunächst könnte man vermuthen, dass die scheinbare Verschmälerung des Mittelfeldes in Fig. 10 *a* vielleicht darauf zurückzuführen sei, dass eine Distanz, die durch eine Linie markirt wird, grösser erscheine, als wenn sie bloss durch zwei Endpunkte oder durch in den Endpunkten auf der Distanz senkrecht stehende Gerade markirt wird. Eine grössere Anzahl von Bestimmungen hat mir ergeben, dass sich dies nicht so verhält; in beiden Fällen wird die Distanz gleich geschätzt. Man könnte zweitens vermuthen, dass eine einzelne Gerade länger geschätzt werde, als eine gleiche Gerade, in deren Endpunkten Senkrechte angebracht sind. Es ist schon sub 1) bemerkt worden, dass, wenigstens für mich, das Gegentheil der Fall ist; die einzelne Gerade wird von mir richtig geschätzt, die in der angegebenen Weise umgrenzte Gerade wird überschätzt. Die Täuschung besteht also nur unter der Einwirkung des Gesammteindruckes der beschriebenen Figuren und zwar wird man wohl annehmen müssen, dass an den Stellen, wo die Figur ohne sichtbare Begrenzung in den umliegenden Raum übergeht, ein Theil dieses Raumes, wie wir es schon mehrfach gesehen, noch zu der Figur selbst hinzugeschätzt wird. Dadurch entstünde zunächst die scheinbare Verlängerung in der Richtung der Unterbrechung; aus dieser liesse sich dann die scheinbare Verschmälerung, als Folge, ableiten: Zeichnet man nämlich eine Reihe gleich breiter aber verschieden hoher Oblonge, so scheinen die höheren schmäler zu sein als die niederern.

3.

Gleiche Figuren können durch die Lage, welche sie zu einander einnehmen, ungleich erscheinen.

Zeichnet man zwei gleiche Dreiecke in gleicher Position senkrecht übereinander, so dass das untere seine Spitze gegen die Basis des oberen wendet so wird man nun das untere für kleiner halten, als das obere. (Fig. 14. Die Täuschung wird leichter bemerkt, wenn man die Zeichnung aus einiger Entfernung betrachtet.)

Schneidet man, parallel zur Basis, die Spitzen dieser beiden Dreiecke in gleicher Höhe ab, so entstehen zwei gleiche Paralleltrapeze, von denen ebenfalls das untere kleiner zu sein scheint als das obere.

Noch etwas mehr tritt die Täuschung hervor, wenn man die wagerechten parallelen Linien in diesen Paralleltrapezen durch Kreisbögen ersetzt,

wie dies in Fig. 15 geschehen ist; und so lassen sich eine Anzahl Figuren (Polygone, Halbkreise, Kreissegmente u. s. w.) construiren, in denen die Täuschung mehr oder weniger stark bemerkbar ist und die alle das gemeinsam haben, dass jede der einzelnen Figuren aus zwei ungleich grossen Theilen besteht, von denen der grössere Theil der einen dem kleineren Theil der anderen zugewendet ist. Man könnte deshalb versucht sein, aus diesem Verhalten eine naheliegende psychologische Erklärung abzuleiten und die Täuschung dadurch entstehen zu lassen, dass das Auge beim Vergleichen von dem grösseren Theil der einen Figur zunächst auf den kleineren Theil der anderen Figur fällt und so in der Schätzung der Gesammtgrössen der beiden Figuren irregeführt werde. Doch lässt sich zeigen, dass die Täuschung in nächster Beziehung zu einer grossen und bekannten Gruppe anderer Erscheinungen steht, auf welche diese Erklärung nicht passen würde: nämlich zu den Erscheinungen, denen das Princip des sog. pseudoskopischen Winkels[1] von Zöllner zu Grunde liegt.

Die Untersuchung ergiebt, dass die Täuschung abhängig ist von dem Winkel, den die seitlichen Begrenzungslinien der Figuren zu ihrer Lagenrichtung bilden und zwar ganz in ähnlicher Weise, wie die scheinbare Convergenz der Parallellinien in dem bekannten Zöllner'schen Muster abhängig ist von dem sog. pseudoskopischen Winkel.

Der Uebergang ist auch leicht herzustellen: man hat nur eine Anzahl solcher Kreisschnitte, wie sie in Fig. 15 dargestellt sind, senkrecht untereinander zu zeichnen und eine Anzahl solcher Reihen parallel nebeneinander anzuordnen, sowie die verbindenden Bögen wegzulassen, um die Zöllner'sche Figur ohne die Parallellinien zu erhalten; diese sind aber, wie schon Zöllner gezeigt, für das Zustandekommen der Täuschung entbehrlich.

Die Betrachtung der Figg. 14 und 15 ergiebt auch, dass die scheinbare Verkleinerung der unteren Figur nur bemerkt wird in Beziehung auf die Breite, nicht aber in Beziehung auf die Höhe; die Täuschung besteht also in der That in einer scheinbaren Convergenz der seitlichen Endpunkte der beiden Figuren nach unten.

Der oben ausgesprochene allgemeine Satz über diese Täuschungen durch die Lage der Figuren kann also jetzt in folgender Weise praecisirt werden: Die Täuschung findet statt bei solchen Figuren und bei solchen Lagen derselben, bei welchen das Princip des pseudoskopischen Winkels in Wirkung treten kann.

[1] Zöllner, Poggendorff's *Annalen*. 1860. Bd. CX. S. 550. — Aubert, *Physiologie der Netzhaut*. S. 270. — Helmholtz, *Physiologische Optik*. S. 566.

Systematische Untersuchung der Wirkung constitutionell verwandter chemischer Verbindungen auf den thierischen Organismus.

Von

Wolcott Gibbs,
M. D., Rumford Professor (Emeritus) an der Harvard-Universität

und

H. A. Hare,
M. D., Demonstrator der Therapie und Instructor der physikalischen Untersuchungsmethoden in der medicinischen Abtheilung, der Physiologie in der biologischen Abtheilung der Universität von Pennsylvanien.[1]

(Hierzu Taf. X.)

Die Untersuchung, welche wir unternommen haben, hat zum Zweck, zu entscheiden, ob sich in der Wirkung constitutionell verwandter chemischer Verbindungen auf den thierischen Organismus allgemeine Gesetze auffinden lassen, sodass sich, wenigstens innerhalb gewisser Grenzen, voraussagen liesse, welche Wirkung eine gegebene Verbindung haben wird, und wie sich die Wirkung ändert, wenn man die Verbindung selbst durch Umsetzung von bestimmten Molekülen oder deren Theilen, oder durch andere bestimmte allgemein anwendbare chemische Behandlungsweisen umwandelt. Wir hoffen wenigstens einen Beitrag zur Beantwortung dieser Fragen liefern zu können.

Die Ergebnisse der Arbeit, welche auf diesem Gebiete schon geleistet worden ist, werden wir an passender Stelle erwähnen; es ist aber, soviel wir wissen, bis jetzt noch nichts unternommen worden, das einer gründlichen systematischen Untersuchung des Gegenstandes nahe käme.

Die Zahl der entstehenden Fragen ist natürlich gross, auch ergeben sich sehr mannigfache Verschiedenheiten der chemischen und physiologischen

[1] Nach dem unter dem 29. März d. J. eingesandten Manuscript der Verfasser übersetzt von Dr. René du Bois-Reymond.

Bedingungen. Indessen muss selbst die theilweise Lösung der Aufgabe, die wir uns gestellt haben, für die Aufstellung eines Systems rationeller Therapie werthvollen Stoff bieten.

Unser Arbeitsplan umfasst folgende einzelne Untersuchungsgegenstände:

1) Verwandte Stoffe aus der Gruppe der aromatischen Verbindungen. Diese bieten infolge der Mannigfaltigkeit der möglichen Combinationen bei weitem das grösste und reichste Untersuchungsfeld. Hierher gehört zum Beispiel:

a) Die Vergleichung homologer Reihen, beispielsweise Nitrobenzol, die Nitrotoluole und so fort.

b) Die Vergleichung der Eigenschaften von Ortho-, Meta- und Paraverbindungen.

c) Die Wirkung folgweisen Ersatzes von Wasserstoff durch das gleiche Molekül, wie zum Beispiel bei Nitrophenol $C_6H_4NO_2OH$, Dinitrophenol $C_6H_3(NO_2)_2OH$ und Trinitrophenol $C_6H_2(NO_2)_3OH$, oder beim Phenol C_6H_5OH, Pyrocatechin o.-$C_6H_4(OH)_2$, Resorcin m.-$C_6H_4(OH)_2$, Hydrochinon p.-$C_6H_4(OH)_2$ und endlich Pyrogallol und Phloroglucin $C_6H_3(OH)_3$.

2) Primäre Alkohole aus der Reihe CRH_2OH.

3) Secundäre Alkohole aus der Reihe CR_2HOH.

4) Tertiäre Alkohole aus der Reihe CR_3OH.

5) Die Amide der Fettsäuren, vom Formamid und den entsprechenden Anilinverbindungen an.

6) Hydrazine oder von N_2H_4 durch mehr oder weniger vollständige Ersetzung des Wasserstoffs abgeleitete Stoffe.

7) Nitroverbindungen, beispielsweise Nitro-Methan.

8) Hyponitrite.

Diesen Stoffen beabsichtigen wir noch solche andere anzureihen, von welchen der Fortgang der Untersuchung zeigen mag, dass sie besonderes Interesse besitzen. Die angeführten Beispiele werden genügen, um die allgemeine Richtung und das Ziel unserer Arbeit zu veranschaulichen. Wir haben mit der Untersuchung der verschiedenen Wirkung gewisser Ortho-, Meta- und Paraverbindungen den Anfang gemacht, von welchen wir vortreffliche Praeparate der Güte des Hrn. Professor Remsen verdanken.[1]

[1] Um Missverständnisse zu vermeiden, dürfte es sich empfehlen, an dieser Stelle zu erklären, dass für den Plan, die Leitung und den rein chemischen Theil dieser Abhandlung Dr. Gibbs verantwortlich ist. Die Versuchsarbeit wurde ausschliesslich von

Nitrophenole.

Auf den normalen Hund übt Orthonitrophenol, in Mengen von 0·002 g bis 0·016 g auf das Kilogramm in die V. jugularis eingepritzt, soviel man sehen kann, keine merkliche Wirkung aus. Ebensowenig verändert diese Gabe die normale Körpertemperatur.

Auf die durch Cocaïn hervorgebrachte Fiebertemperatur hingegen wirkt das Orthonitrophenol offenbar ziemlich stark.

Bei acht Versuchen sank ausnahmslos die Temperatur in einer bis zwei Stunden um einige Grade[1], da aber vor Ablauf einer Stunde kein deutlicher Abfall eintrat, können wir nicht bestimmt angeben, ob das Sinken der Temperatur, als es eintrat, dem Mittel, oder dem Umstand zuzuschreiben war, dass das Cocaïn inzwischen grossentheils ausgeschieden worden war, und daher nicht mehr fiebererregend wirkte. Man wird hierüber mit Hülfe des „Pepsinfiebers“ Untersuchungen anstellen müssen, welches von längerer Dauer ist. Die den fiebernden Hunden beigebrachten Mengen betrugen 0·002 g bis 0·016 g auf das Kilogramm.

Auf das Herz wirkt Orthonitrophenol bei weitem nicht in dem Maasse lähmend wie die verwandte Metaverbindung, denn um den Tod herbeizuführen bedarf es einer sehr grossen Menge, und zwar mehr als 0·1 g auf das Kilogramm, die in kurzer Zeit in die Jugularis eingespritzt werden muss. Spritzt man einem Hunde von 10 Kilogramm 0.075 g in die Jugularis ein, so wird durch periphere und centrale Reizung des Hemmungsapparates der Puls verlangsamt. Der Tod erfolgt durch Lähmung des Herzens, nicht der Athmung, denn das Thier fährt noch einige Augenblicke nach dem Stillstande des Herzens zu athmen fort.

Metanitrophenol.

Bei drei Versuchen an Hunden hatte diese Verbindung keine erkennbare Wirkung, obgleich sie subcutan gegeben wurde, und man die Hunde volle sechs und eine halbe Stunde hindurch genau beobachtete. Die Gaben betrugen in einem Falle 0·013, in einem anderen 0·044, im dritten 0·072 g auf das Kilogramm.

Was den Einfluss des Metanitrophenols auf die normale Temperatur betrifft, so fanden wir, dass es, selbst wenn es unmittelbar durch die Ju-

---

Dr. Hare ausgeführt. Das Ergebniss der Untersuchung ist von beiden gemeinsam bearbeitet. Der physiologische Theil der Arbeiten wurde in dem Laboratorium für experimentelle Therapie an der Pennsylvanischen Universität vorgenommen.

[1] Sämmtliche Gradangaben sind vom Uebersetzer von F. auf C. reducirt.

gularis in den Kreislauf eingeführt wird, unwirksam ist. Die Gabe war 0·0033^{g} auf das Kilogramm.

Die Wirkung der Verbindung auf fiebernde Thiere ist noch nicht sicher festgestellt, obschon wir der Meinung sind, dass es nur noch weniger Versuche bedarf, diesen Punkt zu entscheiden. Bei zweien von den vier von uns angestellten Versuchen wurde die Temperatur mittelst Cocaïn erhöht, und in diesen Fällen brachte das Metanitrophenol keinen Abfall hervor. Bei den zwei anderen Versuchsthieren, bei welchen Pepsin gebraucht wurde, um das Fieber hervorzurufen, brachte das Mittel in einem Falle in 50 Minuten eine Verminderung der Körperwärme um 1·16° C. hervor, während in dem anderen die Verminderung 0.39° C. in 35 Minuten betrug. Bei den beiden cocaïnisirten Versuchsthieren war die Gabe 0·005^{g}, beziehungsweise 0·071^{g} auf das Kilogramm, während sie bei den mit Pepsin behandelten Hunden 0·0625^{g} und 0·018^{g} auf das Kilogramm betrug.

Diese anscheinend widersprechenden Ergebnisse erklären sich sehr leicht, aber nicht aus der verschiedenen Grösse der Dosen, denn beim cocaïnisirten Hund war einmal die Gabe grösser als die den zwei mit Pepsin behandelten Hunden beigebrachten, sondern aus dem Umstande, dass das Cocaïn einen so gewaltigen Sturm von Fieberhitze hervorruft, dass er alles vor sich niederwirft, was nicht gerade die allerstärkste antipyretische Wirkung ausübt. So zum Beispiel haben wir beobachtet, dass bei einem grossen Hunde 0·062^{g} Cocaïn, in die Jugularis gespritzt, die Temperatur des Rectums in weniger als einer Stunde um 3·33° C. erhöhten.

Demnach sind weitere Versuche erforderlich, ehe das Metanitrophenol als ein zuverlässiges Antipyreticum betrachtet werden darf.

Dabei ist nicht zu vergessen, dass alle in dieser Arbeit mitgetheilte Beobachtungen über Körperwärme, wo nicht anders bemerkt ist, am frei umherlaufenden Thiere gemacht sind.

Den Blutkreislauf betreffend finden wir, dass 0·5^{g}, einem Hunde von 6 Kilogramm auf einmal in die Jugularis gespritzt, durch unmittelbare Lähmung des Herzens augenblicklich den Tod herbeiführen. Werden kleinere Mengen gegeben, so wird der Puls bis um 20 Schläge in der Minute verlangsamt, anfangs durch centrale, dann durch periphere Reizung der Hemmungsnerven des Herzens. Jedoch kann das Mittel, durch den Magen aufgenommen, nicht als dem Herzen irgendwie schädlich betrachtet werden.

Paranitrophenol.

Dies Mittel, in Mengen von 0·011^{g} bis zu 0·020^{g} auf das Kilogramm Hunden eingespritzt, bringt, soviel man sehen kann, gar keine Wirkungen hervor.

Die im Rectum gemessene Körpertemperatur steigert es, in Mengen von 0·0025 bis 0·003^{g} auf das Kilogramm, beim frei umherlaufenden Thiere um 0.72° bis 1.00° C. Wie es auf fiebernde Versuchsthiere wirkt, haben wir noch nicht untersucht.

Spritzt man einem Hunde in sehr kurzer Zeit 0.01^{g} Paranitrophenol auf das Kilogramm in die Jugularis, so erfolgt augenblicklich Tod durch Stillstand des Herzens, der nicht vom Hemmungscentrum ausgeht, da Lähmung der betreffenden Nerven das Ergebniss in keiner Weise ändert.

Geschieht andererseits die Einspritzung ganz allmählich, so dass nur kleine Mengen auf einmal das Herz erreichen, so erfolgt nur eine geringe und vorübergehende Depression. Nach Ablauf von 10 Minuten wird der Puls sehr beschleunigt, der Blutdruck ist nicht mehr vermindert und steigt bis zur normalen Höhe oder noch höher. Wir haben nachgewiesen, dass diese Kreislaufbeschleunigung auf einer Lähmung der peripheren Hemmungsnerven des Herzens beruht. Eine halbe Stunde später wird der Puls um zehn bis zwölf Schläge in der Minute langsamer, und gleichzeitig sinkt der arterielle Druck offenbar durch eine Einwirkung auf das vasomotorische System, denn unter diesen Umständen ruft Asphyxie keine Steigerung hervor.

Aus diesen Ergebnissen an höheren Thieren ist ersichtlich, dass die Nitrophenole wenig Macht über das Nervensystem besitzen. Unsere Beobachtungen am Frosche haben diesen Schluss bestätigt. In der That kennen wir kein Mittel, welches das Herz so heftig angriffe, und doch das Nervensystem nur so unmerklich beeinflusste.

Orthonitrophenol, die wenigst giftige unter diesen drei Verbindungen, scheint in der Menge von 0·001^{g} auf das Gramm Frosch noch keinen merklichen Einfluss auf das Nervensystem auszuüben, und selbst das Herz wird nicht hinlänglich berührt, um eine wesentliche Störung des Allgemeinbefindens zu verursachen. Giebt man 0·0032^{g} auf das Gramm, so zeigen sich geringe Anzeichen von Schwäche.

Spritzt man einem Frosch eine Dosis Metanitrophenol von 0·0015^{g} auf das Gramm in den hinteren Lymphraum, so erfolgen einige Minuten lang keinerlei Symptome. Nach Verlauf einer halben Stunde aber wird das Thier schwach und unbeweglich, obschon Muskeln und Nervenstämme auf elektrischen Reiz noch ganz gut reagiren. Nerven und Muskeln sind in ihrer Function nicht behindert, wie daraus hervorgeht, dass, wenn man ein Glied vor der Vergiftung bewahrt, die unbeschützten Nerven und Muskeln auf Reize eben so gut reagiren. Auch das Rückenmark wird nicht

angegriffen, denn die Reflexe bestehen bis zum Tode ungestört fort. Das Herz bleibt ausnahmslos in der Diastole mit angefülltem Ventrikel stehen. Bei einem Versuch, bei welchem die Gabe 0.009^g auf das Gramm Frosch betrug, wurde ausgesprochene Dikrotie des Herzschlages beobachtet.

Bei der Untersuchung des Paranitrophenols, welches, wie man sich erinnern wird, für Säugethiere die giftigste Verbindung der Gruppe war, finden wir, dass ein 40^g schwerer Frosch nach Einspritzung von 0·20^g in den hinteren Lymphraum sogleich matt wird, nicht mehr reagirt, und in weniger als fünf Minuten an Herzlähmung stirbt, in dem das Herz in der Diastole mit prall gefülltem Ventrikel stehen bleibt. Da der tödtliche Erfolg so schnell eintritt, und das Herz so offenbar von Anfang an angegriffen wird, scheint es, dass der theilweise Ausfall der Reaction auf peripheren Reiz, der zu gleicher Zeit auftritt, allein auf dem Herannahen des Todes beruht.. Auch zeigen wiederholte Versuche, dass Nerven und Muskeln auf elektrischen Reiz vollständig gut reagiren.

Zusammenfassung.

Die Phenole werden beim Hunde in folgenden Mengen tödtlich:

Orthonitrophenol erst, wenn 0·1^g auf das Kilogramm verabreicht wird.

Metanitrophenol bei Gaben von etwas mehr als 0·1^g auf jedes Kilogramm. Ebensoviel auf je drei Kilogramm wirkt nicht tödtlich.

Paranitrophenol führt den Tod herbei, wenn Mengen von 0.01^g auf das Kilogramm in die Jugularis gespritzt werden.

Der Giftigkeit nach ordnen sich also die drei Verbindungen wie folgt: Die Paraverbindung ist die giftigste, darauf folgt die Metaverbindung, die Orthoverbindung ist am wenigsten giftig.

Sämmtliche Nitrophenole tödten dadurch, dass sie das Herz lähmen. nicht indem sie die Athmung irgendwie beeinträchtigen. Sie haben selbst bei Fiebertemperatur sehr wenig Einfluss auf die Körperwärme, die Metaverbindung scheint in dieser Hinsicht noch am wirksamsten zu sein. Merkwürdigerweise reizen die Ortho- und die Metaverbindung den Vagus, während die Paraverbindung seine Thätigkeit schwächt. Auf das Nervensystem wirken sie vermuthlich nur mittelbar und jedenfalls nur sehr unbedeutend.

Man beobachtet, dass alle entweder durch die Phenole oder nach Einspritzung noch nicht tödtlicher Mengen getödteten Thiere schnell in Fäulniss übergehen, indem sie stark anschwellen, während andere auf andere Art um's Leben gebrachte Thiere, welche in demselben Raume liegen, noch keine Veränderung erlitten haben.

Nitroaniline.

Werden vier bis zehn Kilogramm schweren Hunden 0·5^{g} Orthonitroanilin *per os* beigebracht, so treten in den nächsten zehn Minuten etwa keine Erscheinungen auf, dann beginnt heftiges Niesen, indem das Thier durchschnittlich einmal in der Minute niest. Fünf Minuten später werden diese Anfälle so heftig, dass bei jeder Expirationsbewegung der Kopf auf den Boden schlägt. Von einem Reize an der Nasenschleimhaut ist bis auf den Umstand, dass in langen Zwischenräumen ab und zu an der Nase gekratzt wird, kein Anzeichen vorhanden. Die Absonderung erscheint, abgesehen von der Flüssigkeit, welche durch die Luftstösse hervorgetrieben wird, nicht vermehrt. Das Niesen dauert etwa vierzig Minuten lang an, hört dann vollständig auf und hinterlässt keine Anzeichen von Schwäche. Das Versuchsthier erscheint so gesund wie je, und bleibt es unbestimmte Zeit hindurch. Vier Stunden nach der Aufnahme des Mittels kann ein vereinzelter Brechanfall auftreten, und etwas wässerige Flüssigkeit ausgeworfen werden.

Werden 0·01^{g} auf das Kilogramm einem Hunde in die Jugularis gespritzt, so sinkt der Blutdruck zeitweilig, steigt aber alsbald wieder höher als zuvor, auf 16^{mm}. Die Pulszahl bleibt ungefähr sieben Minuten lang ziemlich gleich und wird dann um eine Anzahl Schläge kleiner. Dies beruht wahrscheinlich auf gewissen krampfhaften Athembewegungen, welche um diese Zeit auftreten, denn bei curarisirten Thieren kommt es nicht vor. Nach zehn Minuten wird der Pulz plötzlich verlangsamt, indem er in fünf Minuten von 186 auf 90 und in der folgenden Minute auf 60 Schläge in der Minute fällt. Wird während dessen der Vagus durchschnitten, so erfolgt eine ganz geringe Beschleunigung des Pulses, was natürlich auf periphere Reizung dieses Nerven hinweist. Diese scheinbare Wirkung wird hier wiederum durch den Umstand als wirklich erwiesen, dass wenn man Atropin in hinreichender Menge giebt, um den Vagus zu lähmen, der Puls augenblicklich beschleunigt wird und 174 in der Minute erreicht.

Die tödtliche Gabe der Verbindung ist 0·30^{g} auf das Kilogramm; 0·15^{g} in die Jugularis gespritzt wirken nicht tödtlich. Nach dem Tode findet man das Blut dunkelfarbig und klumpig geronnen, und erkennt durch das Spektroskop die Gegenwart von Methaemoglobin.

Spritzt man einem 32^{g} schweren Frosch 0·043^{g} Orthonitroanilin in den hinteren Lymphraum, so verursacht die zur Lösung der Verbindung erforderliche Säure zuerst einigen Reiz. Drei Minuten darauf ist die Reflexbewegung noch ungestört, aber man beobachtet, dass die Athembewegungen aufgehört haben, soweit Bewegungen der Kehle und der Flanken in Betracht kommen. Darauf bleiben die Reflexe ganz plötzlich aus, und

eine Erschlaffung eigenthümlicher Art tritt ein. Der Fuss wird auf Reiz nicht mehr weggezogen, aber das Zittern der Schenkelmuskeln beweist, dass die Empfindung wenigstens bis zu einem gewissen Grade aufwärts fortgeleitet wird. Nachher geht jedoch die Empfindung völlig verloren, denn wenn man den Fuss brennt, wird er nicht weggezogen, obgleich die Bewegungsfähigkeit ganz gut erhalten ist. Die Empfindung wird aufgehoben durch die Einwirkung des Mittels auf den sensiblen Theil des Rückenmarks, denn, wenn man die Gefässe eines Gliedes unterbindet und das Mittel unterhalb der Unterbindungsstelle einspritzt, tritt die Aufhebung der Empfindung nicht ein.

Ganz im Anfange der Vergiftung wird der Herzschlag bedeutend langsamer und beträgt schliesslich nur 24 in der Minute. Auch ist der Herzschlag zugleich sehr schwach. In der That ist in diesem Augenblicke der Blutkreislauf so behindert, dass es scheint, als beruhten die beobachteten Erscheinungen grösstentheils auf dem Ausfall dieses Systems. Schliesslich nimmt die Thätigkeit des Herzens immer mehr ab, und es bleibt in schlaffer Diastole stehen.

Metanitroanilin.

Metanitroanilin, einem Hunde von sieben Kilogramm in der Dosis von 0·5^g bis 0·8^g in die Jugularis gespritzt, bewirkt keine erkennbare Druckverminderung, wohl aber eine sehr deutliche Verlangsamung des Pulses, die bis zu 40 in der Minute betragen kann. Diese Verlangsamung ist, wie wir nachgewiesen haben, theilweise peripherer Vagusreizung zuzuschreiben, denn Durchschneidung der Vagi bringt keinesweges eine Steigerung von normaler Höhe hervor. Die Verlangsamung kann sich nicht von der Wirkung auf das Herz herschreiben, da, wie gesagt, keine Veränderung des Blutdruckes oder der Herzkraft stattfindet.

Bringt man einem 25^g schweren Frosch subcutan 0.085^g Metanitroanilin bei, so wächst im Laufe von acht Minuten die Zahl der Athemzüge an, und zugleich wird die Reflexerregbarkeit gesteigert. Dieser Zustand dauert einige Minuten, dann kehrt der normale Zustand wieder oder es tritt ein Zustand verminderter Reflexthätigkeit ein. Fünf Minuten darauf werden die Reflexe deutlich schwächer, und der Frosch bleibt dann auf dem Rücken liegen, wenn man ihn umdreht.

Die Athemfrequenz, welche vor der Aufnahme des Giftes 44 betrug, steigt nun auf 55. In der Reflexthätigkeit zeigt sich keine weitere Veränderung und es ist zu bemerken, dass Muskeln und Nerven auf elektrischen Reiz noch immer mit anscheinend normaler Schärfe reagiren. Auch das Rückenmark reagirt sicher auf Reiz. Offenbar hat das Mittel

auf das Nervensystem des Frosches wenig Einfluss, ausgenommen auf ganz indirectem Wege. Giebt man das Mittel Hunden oder Kaninchen *per os*, so versinkt das Thier, wenn die Gabe 0.10^{g} oder 0.30^{g} auf das Kilogramm erreichte, alsbald in tiefe Ruhe, und legt sich in einem schlafähnlichen Zustande nieder.

Diese Symptome scheinen sämmtlich auf dem Einflusse der Verbindung auf das Blut zu beruhen, auch zeigt die spektroskopische Untersuchung die Anwesenheit von Methaemoglobin. Diese Ansicht wird durch die beim Frosch erzielten Ergebnisse unterstützt, da bei diesen Thieren das Nervensystem nicht unmittelbar angegriffen, sondern offenbar indirect beeinflusst wurde. Die auftretenden Symptome sind denen der gewöhnlichen Anilinvergiftung auffallend ähnlich, denn es besteht reichlicher Speichelfluss, völliges Verschwinden des Muskeltonus und ein so hoher Grad von Erschlaffung, dass er von vollständiger Lähmung schwer zu unterscheiden ist. Der Corneareflex ist vollständig erhalten und beweist, dass allgemeine Lähmung nicht besteht.

Paranitroanilin.

Das Paranitroanilin wirkt viel ausgesprochener und gefährlicher als die Ortho- oder Metaverbindung. Ein $4{\cdot}5^{kg}$ schwerer Hund, dem $0{\cdot}5^{g}$ beigebracht worden sind, verliert in dreissig Minuten den leichten Gang, und in seinen Bewegungen wird Unsicherheit bemerkbar. Der Kopf wird hoch in die Luft gehalten und ein eigenthümlicher Kehllaut ausgestossen. Darauf taumelt er, wie berauscht, schäumt aus dem Maule und lässt hell grünlich gefärbten Urin. Endlich verliert er unter Würgen und Brechen das Gleichgewicht, fällt um und versinkt im Laufe einer Stunde in anscheinende Bewusstlosigkeit, während jedoch der Corneareflex vollständig erhalten bleibt. Ein merkwürdiger Anfall von Cheyne-Stokes'schem Athmen und Bellen tritt genau nach der Uhr alle fünf Minuten ein und hält sechzig Secunden lang an. Indem das Thier auf der Seite liegt, gehen mit dem Bellen Rennbewegungen einher. Der Tod tritt drei Stunden nach Aufnahme des Giftes im Coma ein.

Spritzt man einem Hunde eine Dosis Paranitroanilin von $0{\cdot}005^{g}$ auf das Kilogramm innerhalb eines Zeitraums von siebzig Secunden in die Jugularis, so erfolgt eine geringe Abnahme des arteriellen Druckes und der Pulszahl. Das Sinken der letzteren wird allmählich immer ausgesprochener, bis die Verminderung 50 Schläge in der Minute beträgt. Dass der Blutdruck mehr infolge vorübergehender, durch die Einspritzung veranlasster Störungen, als irgend einer besonderen Wirkung sinkt, beweist die Thatsache, dass Asphyxie augenblicklich wieder eine Druckerhöhung

hervorruft. Dieselben Erscheinungen ergaben sich bei einem anderen Falle, bei welchem die Gabe 0·002 g auf das Kilogramm betrug.

Die Verlangsamung des Pulses beruht auf peripherer Reizung des Vagus, wie die Thatsache beweist, dass die Durchschneidung dieses Nerven fast keine Beschleunigung hervorbringt, und auch der Umstand, dass die Curve an dieser Stelle kein Zeichen von Herzschwäche aufweist.

Bei dem dritten Versuche, bei welchem nur 0·0007 g auf jedes Kilogramm gegeben wurden, erfolgte kein wichtiges Symptom, ausgenommen dass bei der Durchschneidung der Vagi die Pulsfrequenz nicht wie beim normalen Thiere stieg. Bei dem vierten Versuche wurden 0·033 g auf das Kilogramm in mehreren Dosen eingespritzt, aber ausser den angegebenen keine Folgen beobachtet.

Die Pulsverlangsamung beruht auf peripherer Reizung des Vagus, denn die Einführung von Atropin in den Kreislauf verhindert die Veränderung der Pulsfrequenz nach Aufnahme von Paranitroanilin. Die Menge, in welcher die Verbindung, in die Jugularis eingespritzt, tödtlich wirkt, ist 0·040 g auf das Kilogramm.

Zusammenfassung.

Die tödtliche Dosis des Orthonitroanilins ist etwa 0·3 g auf das Kilogramm Versuchsthier. Es verlangsamt den Puls durch periphere Reizung des Vagus und erzeugt Methaemoglobin im Blut. Die Wirkung auf das Nervensystem besteht hauptsächlich in der Beeinflussung des sensiblen Theiles des Rückenmarks, hängt aber wahrscheinlich von der Veränderung des Blutes ab und ist schwach und indirect.

In grosser Gabe wirkt das Mittel stark herzlähmend.

Das merkwürdigste Symptom, welches es hervorruft, ist das Niesen, welches es verursacht, wenn es *per os* anfgenommen wird.

Metanitroanilin reizt ebenfalls den Vagus peripher und verlangsamt dadurch den Puls. Die Nervenwirkung ist sehr schwach und beruht auf Veränderung des Blutes, auf Methaemoglobin ildung. Die Symptome sind die der Anilinvergiftung überhaupt.

Paranitroanilin ist bei weitem das giftigste Glied der Gruppe und wirkt, wie die übrigen, reizend auf die periphere Ausbreitung des Vagus. Die tödtliche Dosis davon ist bei Einspritzung in die Jugularis 0.04 g auf das Kilogramm.

Gruppe der Amidobenzoësäuren.

Man kann sagen, dass diese Gruppe mit wenigen Ausnahmen ganz ohne Einwirkung auf den thierischen Körper ist. Der normale Zustand in

seiner regelmässigen Thätigkeit bleibt unverändert, mögen die Verbindungen durch den Magen oder durch die Blutgefässe aufgenommen werden.

Orthoamidobenzoësäure.

Die Gabe von 2 g dieser Verbindung auf je acht Kilogramm Hund war gänzlich wirkungslos.

Reichliche Harnentleerung folgte in einem weiter unten mitgetheilten Falle sechs Minuten nach Aufnahme des Mittels und konnte daher nicht wohl der Arzneiwirkung zugeschrieben werden.

Gewicht des Hundes 8 kg. 3 Uhr 25 Min. Temperatur im Rectum 39·55° C.

3 Uhr 32 Min. 2 g des Mittels in 40 ccm Wasser durch die Speiseröhre eingegeben.

3 Uhr 38 Min. Entleerte reichlich Urin.

3 Uhr 40 Min. Entleerte flüssigen Koth.

4 Uhr 25 Min. Keine weiteren Erscheinungen. Temperatur im Rectum 39.44° C.

Folgenden Tages. Ganz gesund.

In Bezug auf den Blutkreislauf sind die Erfolge fast ebenso nichtig. Nach der Einspritzung von 1 g auf je sechs Kilogramm in die Jugularis erscheinen etwa neun Minuten lang keine Symptome, bis endlich eine deutliche Pulsverlangsamung eintritt. Da diese sowohl bei curarisirten als auch bei nicht curarisirten Thieren erfolgt, so muss sie auf einer unmittelbaren Arzneiwirkung beruhen. Weitere Versuche haben dargethan, dass die Hemmungsnerven central und peripher gereizt werden, denn unter den bezeichneten Umständen bewirkt ihre Durchschneidung nur eine leichte Steigerung der Frequenz, welche der beim normalen Hunde nicht gleichkommt. Diese Thatsache deutet auf periphere Reizung der Hemmungsnerven, und die Annahme einer solchen peripheren Wirkung scheint sich zu bestätigen, da Atropin keine Steigerung der Frequenz hervorbrachte, wenn zuvor Orthobenzoësäure gegeben war.

Metaamidobenzoësäure.

Diese Verbindung hat ebenfalls keinen Einfluss auf den thierischen Organismus. Dies ist aus den folgenden Beispielen von Versuchen ersichtlich, bei welchen keine Veränderung der Körperwärme oder des Allgemeinbefindens eintrat.

Gewicht des Hundes 4 kg. 12 Uhr 26 Minuten Temperatur im Rectum 39·44° C.

12 Uhr 28 Min. 1^{g} der Verbindung in 40^{ccm} Wasser.
12 Uhr 31 Min. 10^{ccm} der Gabe ausgebrochen.
1 Uhr 40 Min. Keine Symptome. Temperatur im Rectum 39.33° C.
2 Uhr 30 Min. Keine Symptome. Temperatur im Rectum 39·33° C.

Gewicht des Hundes 5^{kg} 12 Uhr 20 Min. Temperatur im Rectum 37·50° C.
12 Uhr 22 Min. 2^{g} der Verbindung in 40^{ccm} Wasser.
12 Uhr 50 Min. Etwa 10^{ccm} ausgebrochen.
1 Uhr 40 Min. Keine Erscheinungen, Temperatur im Rectum 37·77° C.
2 Uhr 30 Min. Keine Erscheinungen.

Sorgfältige manometrische Untersuchung des Kreislaufs nach Einspritzung des Mittels in die Jugularis hat ganz dasselbe Ergebniss, und sogar Mengen von 1^{g} auf je 5 Kilogramm Hund bringen keine Wirkung hervor. Bei einem Versuche, bei welchem die ganze Einspritzung (1^{g} in 40^{ccm} Wasser) auf einmal in das Herz getrieben wurde, fiel der Blutdruck auf einen Augenblick um etwa 20^{mm} Quecksilber, dies dauerte aber nur 10 Secunden an, und war durch die Plötzlichkeit der Einspritzung verursacht.

Paraamidobenzoësäure.

Giebt man einem Hunde *per os* Paraamidobenzoësäure, so dass auf je sieben Kilogramm Hund 0·5^{g} des Mittels kommen, so erfolgt nichts, und dasselbe gilt, wenn so grosse Gaben wie 2^{g} auf jedes Kilogramm verwendet werden. In einem Fall trat leichtes Erbrechen ein, aber da nur eine sehr geringe Menge Flüssigkeit ausgeworfen wurde, ging von dem Mittel nichts verloren. Wahrscheinlich war die Anstrengung zum Brechen grossentheils willkürlich und rührte von der Reizung des Rachens her, welche durch die zur Einführung des Mittels angewandte Schlundsonde verursacht worden war. Die Temperatur nahm nicht ab, wie durch ein vor und nach Aufnahme der Gabe eingelegtes Rectalthermometer nachgewiesen wurde. Eine Stunde, nachdem das Mittel gegeben worden war, trat Harnabgang ein, aber die entleerte Menge war gering und wahrscheinlich von der Arzneiwirkung unabhängig. Folgende zwei Versuche zeigen dasselbe Ergebniss wie sämmtliche anderen.

Gewicht des Hundes 7^{kg} 11 Uhr 30 Min. Temperatur im Rectum 38·94° C.

11 Uhr 35 Min. 0·5^{g} des Mittels in 60^{ccm} Wasser *per os* gegeben.
1 Uhr 5 Min. Fürs erste durchaus keine Symptome irgend welcher Art.
2 Uhr 5 Min. Fürs erste durchaus keine Symptome.

Folgenden Tages: Noch keine Erscheinungen.

Gewicht des Hundes 5^{kg} 12 Uhr. Temperatur im Rectum 39·16° C.
12 Uhr 2 Min. 2^{g} des Mittels wie oben.
12 Uhr 15 Min. Etwa 5^{ccm} Flüssigkeit ausgebrochen aber nichts von der Gabe.
12 Uhr 35 Min. Temperatur im Rectum 39·16° C.
1 Uhr 40 Min. Temperatur im Rectum 39.16° C. Fürs erste durchaus keine Symptome welcher Art.
1 Uhr 45 Min. Unbedeutende Harnentleerung, etwa 60^{ccm}.

Die Wirkungen dieser Verbindung auf dem Blutkreislauf, mittels des Quecksilbermanometers untersucht, sind durchaus nicht bedeutender als die oben mitgetheilten. Pulsfrequenz und arterieller Druck erleiden keine Veränderung, wenn man Mengen von 0·5^{g} bis 1^{g} auf je acht Kilogramm Hund in 30^{ccm} einer Sodalösung im Laufe von zehn Secunden in die Jugularis spritzt.

Nitrobenzoësäuren.

Orthonitrobenzoësäure, in Mengen von 1^{g} auf je vier oder fünf Kilogramm einem Hunde in die Jugularis oder in den Magen eingeführt, scheint wenig oder gar keinen Einfluss auf das frei gehaltene Thier zu haben, da nur eine ganz geringe Schwächung des Organismus sich durch Streben nach ruhiger Lage verräth. Dies Verlangen, sich ruhig und still zu halten, ist wohl eher eine Folge des Eingriffs durch Eröffnung der Jugularis oder gewaltsame Einbringung des Mittels in den Magen, wie der Umstand beweist, dass der Hund ohne Mühe umhergeht und Liebkosungen erwiedert. Ueberdies ist zu bemerken, dass die Symptome von Schwächung, soweit sie überhaupt vorhanden sind, zum Theil auf der Verwendung einer gesättigten Sodalösung als Vehikel für das Mittel beruhen. Bekanntlich ist ein solches Lösungsmittel der Verbindung selbst in keiner Weise nachtheilig, da ja die Blutsalze alle ähnlichen Säuren ebenfalls in Natronsalze verwandeln, sobald sie in den Kreislauf eingetreten sind. Die Körperwärme bleibt unverändert.

Spritzt man Orthonitrobenzoësäure in der eben erwähnten Dosis (1^{g} auf je vier oder fünf Kilogramm) in die Jugularis, so erfolgt keine wesentliche Aenderung des arteriellen Druckes oder der Pulsfrequenz, mag auch die Lösung concentrirt und schnell eingespritzt sein.

Fröschen subcutan beigebracht, scheint die Orthonitrobenzoësäure ebenso unschädlich zu sein, wir sind daher zu dem Schluss gekommen, dass diese Verbindung, in gewöhnlichen Mengen gegeben, auf den Organismus fast gar keine Wirkung ausübt.

Metanitrobenzoësäure.

Bringt man diese Verbindung in Mengen von 0.25^{g} bis 1^{g} auf je sieben Kilogramm einem frei gehaltenen Thiere in den Magen oder die Jugularis, so erfolgen eben so wenig Symptome wie bei Anwendung des vorhergehenden Salzes.

Ebenso findet man, dass das Gefässsystem nicht beeinflusst wird und dass sowohl Pulsfrequenz als auch arterieller Druck unverändert bleiben. Die Verbindung ist also in den angeführten Mengen physiologisch fast unwirksam.

Paranitrobenzoësäure.

Diese Verbindung ist von ebenso schwacher Wirkung und überhaupt erscheint die ganze Gruppe in gleicher Weise unschädlich.

Kresole.

Spritzt man einem Hunde Orthokresol in der Menge von 0·025^{g} auf das Kilogramm in 30^{ccm} Glycerin und Wasser gelöst in die Jugularis ein, so beginnt er krampfhaft zu zappeln und dann zu taumeln, wobei die Hinterbeine stärker angegriffen sind. Das Thier erscheint dann betäubt, Schauer durchlaufen die Musculatur, die Körperwärme, im Rectum gemessen, nimmt jedoch nur um 0·15—0·22° C. ab. Nachher erholt sich das Thier schnell und läuft schon nach zwanzig Minuten wieder wie gewöhnlich umher. Diese Nervensymptome scheinen hauptsächlich von der Herzdepression, welche durch die Einspritzung des Mittels hervorgerufen wird, abzuhängen. Giebt man 0·66^{g} auf das Kilogramm, so werden die Erscheinungen ausgesprochener, Speichel fliesst aus dem Maule, die Hinterbeine sind wieder von der Lähmung am stärksten befallen. In der Temperatur des Rectums tritt keine wesentliche Veränderung ein, und nach vierzig Minuten erscheint der Hund so gesund, wie vor Aufnahme des Mittels. Zwei Stunden nachher jagte das Versuchsthier ohne jede Spur von Störung in seinen Bewegungen einen Affen im Zimmer umher.

Bringt man einem Frosch eine Gabe von 0·004^{g} auf das Gramm unter die Haut in den hinteren Lymphraum, so verursacht Orthokresol Ausbleiben der Reflexbewegung vor allem an den Hinterbeinen. Muskeln und Nerven reagiren bald, ehe noch die Fähigkeit zur willkürlichen Bewegung aufhört, nicht mehr auf galvanischen Reiz. Es folgt schneller Tod durch

Herzschwäche, und man findet das Herz weit ausgedehnt und gelähmt. Bringt man nur 0·0003^{g} unter die Haut des Rückens, so tritt binnen fünf Minuten Störung der Coordination und Ausfall der Reflexbewegungen ein. Hierauf folgt eine Steigerung, die dann wieder einer Abnahme Platz macht, die mit dem Tode endigt. Da die anfängliche Abnahme nach Abtrennung des Setschenow'schen Centrums nicht mehr in irgend grösserer Ausdehnung auftritt, so beruht sie wahrscheinlich auf der Reizung dieses Centrums. Die Reflexthätigkeit nimmt in gleichem Maasse mit der Unerregbarkeit der Nerven und Muskeln für elektrischen Reiz ab.

Oertlich auf das Herz angewandt macht Orthokresol einen weissen Fleck auf der Oberfläche und bewirkt Stillstand in der Diastole.

Beim Hunde bringt die Verbindung eine höchst eigenthümliche Curve hervor (s die Fig. auf Taf. X.) Die Dosis von 0·08^{g} auf das Kilogramm verursacht in anderthalb Minuten vom Beginn der Einspritzung an ein plötzliches Sinken des Blutdrucks von 124^{mm} Quecksilber auf 18^{mm}, während zugleich die Pulsfrequenz von 156 auf 102 fällt, und der Stift schliesslich auf der Abscisse entlang läuft, ohne auf der Trommel überhaupt eine Pulswelle anzugeben.

Dass die Druckverminderung grossentheils durch das vasomotorische System bedingt ist, folgt aus der Curve des Abfalls selbst, und aus der Thatsache, dass Asphyxie keine Steigerung hervorbringt. Letzterer Umstand würde zwar keine Beweiskraft haben, wenn schon vorgeschrittene Herzschwächung bestünde. Da die Pulswellen unmittelbar vor dem Stillstand noch ganz gross waren, die Frequenz jedoch gering, so fiel uns ein, dass der Stillstand auf centraler Reizung der Hemmungsnerven beruhen könnte. Dies ist auch theilweise der Fall, wie die Thatsache beweist, dass nach dem Vagusschnitt das Herz neunzigmal in der Minute schlug und die Pulswelle auf einige Secunden wiederkehrte. Offenbar beruht aber der Stillstand nicht ausschliesslich auf centraler Hemmung, denn es folgte augenblicklich auf's neue ein Stillstand, der nur noch einmal auf zwanzig Secunden durch einige Pulse von der Frequenz von 60 in der Minute unterbrochen wurde. Der Druck betrug 2 bis 26^{mm} und nachher 2 bis 14^{mm} Quecksilber. Der Tod trat zehn Secunden später ein. Bei einem anderen Hund, der curarisirt wurde und bei dem der normale arterielle Druck 144^{mm} Quecksilber bei einer Pulszahl von 120 in der Minute betrug, verursachte die Dosis von 0.033^{g} auf das Kilogramm eine Druckverminderung um 27^{mm} Quecksilber, aber keine merkliche Pulsschwankung. Erst drei Minuten später wurde die Pulsfrequenz bedeutend kleiner und betrug nur noch 84 in der Minute, obgleich der Druck schon wieder zu der normalen Höhe zurückgekehrt war, abgesehen davon, dass die Höhe und eigenthümliche Form der Welle von der Beeinflussung der Herzthätig-

keit durch Vagusreiz herzurühren schien. Um dies festzustellen, wurden die Vagi sofort durchschnitten, und es erfolgte eine geringe Beschleunigung des Pulses, der jedoch noch immer langsam blieb, und nur 90 in der Minute erreichte. Es ist also wahrscheinlich, dass bei der Wirkung des Orthokresols auf das Herz zwei Factoren eingreifen, nämlich Hemmung und Depression. Hemmung ist anzunehmen, weil die Pulswelle nicht auf eine so starke Herzlähmung hindeutet, dass sie ausreichen könnte den Tod herbeizuführen, und weil der Vagusschnitt das Herz noch auf einen Augenblick in Bewegung setzt, nachdem es angehalten hat. Depression andererseits, weil man das Herz nach dem Tode erschlafft und gelähmt findet, und weil der Vagusschnitt die Herzthätigkeit nicht vollständig wieder herstellt.

Die Annahme einer Herzdepression wird auch durch das Ergebniss der Anwendung des Mittels auf das Froschherz bethätigt. Es ist bemerkenswerth, dass der Blutdruck nicht unmittelbar unter dem Einflusse des Mittels zu stehen scheint, sondern secundär von der durch Vaguswirkung gestörten Herzthätigkeit beeinflusst wird, denn Asphyxie bringt keine Drucksteigerung hervor.

Metakresol.

Metakresol in Mengen von $0{\cdot}05^{g}$ auf das Kilogramm Hund passend verdünnt in die Jugularis gespritzt, bringt kaum bemerkbare Veränderungen hervor, abgesehen von einer geringen und sehr vergänglichen Schwächung der Muskeln, welche etwa drei bis vier Minuten anhält. Die Temperatur im Rectum bleibt unverändert und in kurzem (30 Minuten) ist das Thier wieder lebhaft, ausgelassen und durchaus gesund.

Giebt man Fröschen $0{\cdot}0022^{g}$ auf das Gramm subcutan, so tritt Mattigkeit, Erschlaffung und theilweise Aufhebung der Reflexthätigkeit in den Hinterbeinen auf, während die Vorderbeine weniger angegriffen sind. Der Herzschlag ist deutlich dikrot, und der Kreislauf geschwächt, wie man an der venösen Stauung in Rumpf und Gliedern erkennt. Gaben, welche $0{\cdot}044^{g}$ auf das Gramm überschreiten, verursachen alsbald Ausfall der Reaction. Muskeln und Nerven werden unempfindlich gegen elektrischen Reiz, noch ehe die willkürliche Bewegung aufhört. Der Herzschlag wird zuerst deutlich dikrot, das Venensystem ist überfüllt, dann bleibt das Herz in weit ausgedehnter Diastole stehen. Trägt man das Setschenow'sche Centrum ab, so kehren dennoch die Reflexe nicht wieder. Die Hinterbeine sind am stärksten befallen.

Der ursprüngliche Ausfall der Reflexthätigkeiten beruht auf sensibler Depression des Rückenmarkes und Nervensystems. Hierauf folgt Depression des motorischen Theils und der Nerven und Muskeln, wie aus dem Um-

stande hervorgeht, dass alle diese Theile gegen elektrischen Reiz unempfindlich werden.

Dass die lähmende Wirkung eine durchgreifende ist, folgt aus dem Umstande, dass sogar $^1/_8$ Gran Strychnin subcutan keine Spur von Krämpfen verursachte.

Metakresol in Mengen von 0·09 g auf das Kilogramm in 30 ccm Wasser und Glycerin gelöst in die Jugularis gespritzt, verursacht geringe Pulsverlangsamung und sehr deutlichen Abfall des Blutdruckes, so dass während der Puls von 180 auf 150 Schläge sinkt, der Druck von 140 mm Quecksilber auf 42 mm fällt, und erst nach zwei Minuten wieder 75 mm erreicht. Inzwischen ist auch die Pulszahl auf die vor der Aufnahme des Mittels bestehende Höhe zurückgekehrt (180). Es ist bemerkenswerth, dass selbst bei dem niedrigsten Druck die Pulswelle gut ausgebildet und voller ist, als sonst bei grosser Herzschwäche der Fall zu sein pflegt. Bringt man, während der Druck auf 75 mm steht, Asphyxie hervor, so erfolgt keine weitere Drucksteigerung, es ist also gerechtfertigt anzunehmen, dass die eintretende Druckverminderung auf Depression des vasomotorischen Systems beruhe. Sechs Minuten später, als der Druck auf 122 mm gestiegen war, wurde eine zweite Gabe von 0·07 g auf das Kilogramm eingespritzt, und sofort fand ein erneuter Abfall des Druckes mit sehr geringer Schwankung der Pulszahl statt. Vier Minuten darauf, als der Druck wieder auf 105 mm gekommen war, wurde 1 g gegeben und verursachte nach dreissig Secunden Tod durch Herzstillstand. Dass dies nicht durch Reizung des Hemmungsapparates geschah, folgt aus der Thatsache, dass sofortiger Vagusschnitt das Herz nicht wieder in Thätigkeit setzte. Bei einem anderen Versuch, bei welchem die Gabe 0·15 g auf das Kilogramm betrug, trat der Tod binnen zwanzig Minuten vom Augenblicke der Einspritzung ein, indem der Druck beinahe bis auf die Abscisse fiel und die Herzkraft nachliess, wie aus der Pulscurve hervorging. Wir schliessen hieraus, dass Metakresol in Mengen von 0·05 g bis 0·20 g auf das Kilogramm Hund als ein unmittelbar lähmendes Gift auf das vasomotorische System und ebenso in geringerem Maasse auf den Herzmuskel wirkt, und dass es die lebenden Gewebe, mit welchen es in innige Berührung tritt, lähmt, indem es das sensible Nervensystem an erster, das motorische an zweiter Stelle angreift und lähmt.

Parakresol.

Spritzt man Parakresol einem nicht mit dem Manometer verbundenen, sondern frei gehaltenen Hunde in die Jugularis ein, ohne dass man ihn vorher mit Aether betäubt, und zwar eine Menge von 0·1 g auf das Kilogramm in 40 ccm Wasser und Glycerin gelöst, so tritt lebhaftes Zappeln

von krampfhaftem Charakter auf, das sich schliesslich zu einem momentanen Starrkrampf steigert. Hierauf folgt etwa drei Minuten lang taumelnder Gang und sichtbare Schwäche, besonders der Hinterbeine. Da sich das Thier nun schnell erholt, so muss man das Zappeln und die Schwäche der Kreislaufstörung zuschreiben, welche dadurch bedingt wird, dass die gesammte Menge des Giftes auf einmal in das Herz getrieben wird. Es folgt nämlich auf die Anwendung des Mittels durchaus keine Veränderung der Temperatur im Rectum, und nach ungefähr einer Stunde ist das Thier so gesund wie je.

Spritzt man einem Frosch $0{\cdot}006^{g}$ auf das Gramm in den hinteren Lymphraum, so tritt fast augenblicklich Tod ein, indem das Herz in Diastole stillsteht. Die Glieder werden fast so steif wie durch Todtenstarre und reagiren nicht auf Reiz.

Giebt man $0{\cdot}002^{g}$ auf das Gramm, so hüpft der Frosch ein paar Mal infolge des Reizes, dann schwindet die Reflexthätigkeit und etwas später die Coordination der Bewegung überhaupt. Der Frosch kriecht nur noch, statt zu hüpfen. Durchschneidet man, um jeden Einfluss des Setschenow'schen Centrums auszuschliessen, das Rückenmark, so wird die Reflexthätigkeit nicht wieder hergestellt, später jedoch kehrt sie wieder und erscheint sogar gesteigert. Muskeln und Nerven reagiren nur träge auf den galvanischen Strom. Die Hinterbeine scheinen am stärksten ergriffen. Dieselben Erscheinungen, aber in viel höherem Grade treten auf, wenn man $0{\cdot}02^{g}$ einspritzt. Der Frosch schleppt dann die Hinterbeine und bewegt sich mittels der Vorderfüsse, die, wie auch die Nase, hyperaesthetisch erscheinen. Muskeln und Nerven der Hinterbeine reagiren schlecht auf Elektricität. Stets ist ein sehr merklicher Abfall der Empfindung vorhanden, welcher auf einer Wirkung auf das sensible Rückenmark und auf die Sinnesnerven beruht. Oertlich auf das freigelegte, noch schlagende Herz angewandt, wirkt Parakresol als ein lähmendes Gift, welches sehr bald Stillstand in der Diastole hervorruft. Durch diese Versuche am Hund und am Frosch scheint erwiesen, dass Parakresol in concentrirter Lösung auf alle Gewebe, mit welchen es in Berührung kommt, als ein lähmendes Gift wirkt, und dass es, während seine Hauptwirkung den Kreislauf betrifft, zuerst das sensible, dann das motorische Nervensystem lähmt, wobei die hintere Hälfte des Körpers am stärksten ergriffen wird.

Parakresol in der Dosis von $0{\cdot}08^{g}$ auf das Kilogramm bringt beim Hunde sofort eine sehr deutliche und schnelle Verminderung des Blutdruckes und eine entsprechende Abnahme der Pulsfrequenz hervor. Die Druckverminderung kann fast 100^{mm} Quecksilber im Laufe von dreissig Secunden bis zu einer Minute betragen, und tritt so plötzlich ein, dass sie offenbar einer Herzdepression und nicht vasomotorischer Einwirkung zuzu-

schreiben ist. Unmittelbar darauf steigt der Druck wieder auf fast normale Höhe, indem das Herz sich des Giftes entledigt. Giebt man jetzt eine zweite Dosis, so findet ein noch stärkerer Abfall statt als zuvor, sodass der Druck nur 4 mm beträgt, während zugleich der Puls verlangsamt wird. Nach dem Verlauf von drei Minuten von der letzteren Gabe an stellt sich der Druck annähernd wieder her, aber die Pulszahl bleibt bedeutend unter der normalen. Die Pulswelle ist leidlich voll und stärker als unmittelbar nach der Einspritzung. Um festzustellen, ob die Verlangsamung vom Hemmungsapparate herrühre, wurde der Vagus durchschnitten, aber Frequenz und Druck nahmen nicht wie beim unvergifteten Thiere zu. Zehn Minuten später brachte eine neue Dosis von 0.04 g auf das Kilogramm einen Abfall von Druck und Frequenz hervor, der jedoch durch eine Steigerung, welche nachfolgte, theilweise ausgeglichen wurde. Darauf erfolgte, unmittelbar nachdem noch 0·016 g auf das Kilogramm des Körpergewichts in zwei gleichen Gaben mit zwanzig Secunden Zeitabstand eingespritzt worden waren, ein erneuter Abfall, der mit dem Tode endigte. Man wird sogleich fragen, ob Druck und Frequenz immer nur infolge der Herzdepression sanken, oder ob auch die Hemmungsnerven peripher gereizt waren. Hierauf eine Antwort zu geben ist fast unmöglich. Sicherlich bestand Herzdepression und wahrscheinlich wirkte peripherer Vagusreiz mit, da andere Versuche, bei welchen viel kleinere Gaben verwendet wurden, Herzverlangsamung ohne eigentliche Depression ergaben. Nach einer Dosis von 0·1 g auf das Kilogramm steht das Herz in Diastole still.

Es muss bemerkt werden, dass bei einem nicht curarisirten Hunde, welchem das Mittel in der Gabe von 0·035 g auf das Kilogramm in die Jugularis gespritzt wurde, der Puls erst ein wenig verlangsamt und dann beschleunigt wurde. Vagusreizung brachte keine wesentliche Verlangsamung hervor. Wiederholte Controlversuche hatten nicht den gleichen Erfolg, denn obgleich curarisirte und nicht curarisirte Hunde verwendet wurden, war der Puls jedesmal verlangsamt, aber nie beschleunigt, trotzdem dass mit der grössten Sorgfalt Hunde von derselben Grösse ausgesucht und ebenso grosse Dosen gegeben wurden. Diese eine Ausnahme ist wohl einer unbekannten und indirect wirkenden Ursache zuzuschreiben, vielleicht dem Aether, mit welchem das Thier betäubt worden war.

Zusammenfassung.

Orthokresol wirkt auf das Herz von Hund und Frosch als lähmendes Gift. Beim Frosch ruft es Lähmung des Marks der sensiblen und motorischen Nerven hervor, von welchen es das sensible System am

stärksten angreift, auch verringert es die Erregbarkeit der Muskeln. Es dürfte zunächst ein Reizmittel für Setschenow's reflexhemmendes Centrum sein.

In Mengen von 0·08 g auf das Kilogramm eingespritzt, verursacht Orthokresol Tod durch Herzstillstand, indem es das Herz lähmt und das Hemmungscentrum in gewissem Grade reizt. Die Depression des vasomotorischen Systems trägt ebenfalls wesentlich dazu bei, den tödtlichen Ausgang hervorzurufen.

In der Dosis von 0·033 g auf das Kilogramm verlangsamt es den Puls, indem es das Herz lähmt und den Vagus reizt.

Orthokresol ist also in kleinen Gaben ein Reizmittel für die Nervensubstanz des Hemmungsapparates, in grösseren ein kräftig wirkendes Gift für alle Gewebe.

Metakresol beeinflusst nicht wie Ortho- und Parakresol den Hemmungsapparat von Hund und Frosch. Es ist kein so starkes Herzgift, sondern wirkt mehr auf das vasomotorische System. Von den Nerven lähmt es zuerst das sensible, dann das motorische System. 0·07 g bis 0·09 g auf das Kilogramm Hund, in die Jugularis gespritzt, verursachen Herzdepression, wirken aber hauptsächlich auf das vasomotorische System. In grosser Dosis, 0·15 g auf das Kilogramm, eingespritzt, ruft es Tod durch Herzstillstand hervor.

Parakresol wirkt bei Hund und Frosch als Herzgift, und in zweiter Linie auf die Nerven, vor allem die sensiblen. Nachher lähmt es Nerven und Muskeln und den motorischen Theil des Rückenmarks. Beim Hund ruft Parakresol in der Gabe von 0·1 g auf das Kilogramm Tod durch Herzlähmung hervor. In der Gabe von 0·08 g auf das Kilogramm wird der Puls durch centrale und vielleicht auch periphere Reizung des Hemmungsapparates und Lähmung des Herzmuskels verlangsamt, während das vasomotorische System wenig oder gar nicht angegriffen scheint.

Ortho-, Meta- und Parakresol wirken sämmtlich lähmend auf das sensible und das motorische System.

Die Ortho- und die Paraverbindung regen die Hemmungsvorgänge an, die Metaverbindung hat keine solche Wirkung. Die Orthoverbindung scheint von beiden das stärkere Reizmittel für die Hemmungsnerven zu sein, und ist das stärkste Herzgift der Gruppe. Dem Orthokresol zunächst steht in dieser Hinsicht das Parakresol, Metakresol wirkt auf das Herz verhältnissmässig schwach. So ist die Orthoverbindung tödtlich in der Dosis

von 0·08 g auf das Kilogramm, die Paraverbindung in der von 0·1 g auf das Kilogramm und die Metaverbindung, wenn die Gabe 0·15 g auf das Kilogramm erreicht.

Metakresol scheint die vasomotorischen Nerven stärker anzugreifen als Parakresol, aber wahrscheinlich nicht stärker als die Orthoverbindung.

Ortho- und Paraverbindung bilden als Reizmittel für die Hemmungsnerven und Gift für das Herz eine Gruppe, Ortho- und Metaverbindung als Gift für die vasomotorischen Nerven. Die Nerven des Frosches lähmen diese Verbindungen in derselben Reihenfolge wie das Herz. So lähmt Orthokresol in der Dosis von 0·004 g auf das Gramm die Nerven und führt den Tod herbei, Parakresol in der Dosis von 0·006 g und Metakresol erst in der Dosis von 0·044 g auf das Gramm.

(Wird fortgesetzt.)

Die Variationen des normalen Kniestosses (Kniephaenomens) und deren Verhältniss zur Thätigkeit des Central-Nervensystems.

Von

Dr. med. Warren Plympton Lombard.

Nachstehende Untersuchung wurde angestellt, um die Variationen denen der Kniestoss regelmässig unterliegt, festzustellen. Die Beobachtungen basiren auf Versuchen, die mit einem Hammer angestellt wurden, der einen Schlag von bestimmter Kraft ausführte, und mit einem Apparat, welcher die Ausdehnung der sich alsdann ergebenden Kniestösse genau registrirte. Die Versuche sind sämmtlich an dem Verfasser vorgenommen worden, der ein gesunder Mann ist. Sie erstreckten sich über sechs Wochen und wurden bei 239 verschiedenen Gelegenheiten vorgenommen und bezifferten sich auf 6639. Von diesen Versuchen sind nur 5476 in den dieser Abhandlung beigegebenen Tabellen mitgetheilt.

Diese Versuche beweisen nicht allein, dass die Ausdehnung des Kniestosses je nach der Stärke des Schlages verschieden ist, sondern auch, dass, wenn Schläge von gleicher Kraft ausgeführt wurden, der Umfang des Kniestosses an verschiedenen Tagen, zu verschiedenen Zeiten an ein und demselben Tag und sogar bei rasch hinter einander folgenden Versuchen ein anderer ist.

Diese Unterschiede in der Ausdehnung des Kniestosses sind bedingt durch den Zustand der bei dem Vorgange betheiligten Muskeln und Nerven und in noch höherem Grade durch diejenigen Einflüsse, welche in der Thätigkeit des gesammten Central-Nervensystems oder einzelner Mechanismen des Rückenmarks und Gehirns eine Veränderung hervorrufen.

Von den vielen Namen, welche diesem Phaenomen gegeben worden sind, nämlich: „Kniephaenomen“, „patellarer Sehnenreflex“, „myotatische

Zuckung", „Kniestoss", erscheint der letztere dem Verfasser deshalb besonders empfehlenswerth, weil er die Aufmerksamkeit nur auf die eigenthümliche Plötzlichkeit der Bewegung lenkt und nichts in Bezug auf die Natur des Vorganges in sich schliesst.

Sämmtliche Versuche sind an dem Verfasser von seiner Gattin angestellt worden; ihr Werth wird durch die Genauigkeit und Sorgfalt, mit welcher sie von ihr vorgenommen worden sind, bedeutend erhöht.

Die Art und Weise, wie man den Kniestoss hervorbringt, und die Natur des Vorganges. — Versetze die Person in eine bequeme Stellung, mit theilweise gebogenem Knie und leicht beweglichem Bein; führe dann auf die Mitte des Bandes, gerade unter der Kniescheibe, einen plötzlichen Schlag. Der sich ergebende Stoss hat einen schnellenden Charakter, der ganz eigenthümlich ist.

Wenn Jemand mit einem Beine über das andere gekreuzt sitzt, wird der M. quadriceps des Beines, welcher sich zu oberst befindet, durch das Gewicht des herabhängenden Beines und Fusses ein wenig gestreckt, und die aus der Quadricepssehne, der Patella und dem patellaren Bande, welches den M. quadriceps mit dem oberen Theile der Tibia verbindet, zusammengesetzte Kette erfährt eine beträchtliche Spannung. Wird nun das Ligamentum patellae geschlagen, so wird es plötzlich in die Höhle des darunter liegenden Gelenkes hinabgedrückt, und ein Ruck wird dem M. quadriceps mittels der Patella und der Quadricepssehne mitgetheilt. Ob die Muskelfasern und die in dem Muskel liegenden motorischen Nerven von der ihnen so zugeführten mechanischen Reizung unmittelbar angeregt werden, ob die Endorgane der sensiblen Nerven am Ende der Sehne nahe dem Muskel sowohl als in dem Muskel selbst durch die Wirkung des Schlages erregt werden, und dem Muskel Reize zuführen durch die centripetalen Rückgratnerven, die Centren im Rückenmark und die centrifugalen Rückgratnerven, oder ob diese beiden Vorgänge zusammen die Muskelcontraction herbeiführen helfen, ist unbekannt. Wir wissen nur, dass das Ergebniss des Schlages ist, eine plötzliche Contraction des M. quadriceps zu verursachen, welche den Fuss in der charakteristischen Weise vorwärts stösst.

Alle Mittel, wodurch der Kniestoss erzielt werden kann, sind lediglich verschiedene Wege eine Zerrung des M. quadriceps zu bewirken, indem man seiner Sehne eine plötzliche Spannung giebt.

Das Wesen des Vorganges. — Welche Ansicht man auch vom Wesen des Vorganges haben mag, so wird doch allgemein zugegeben, dass er von dem Zustande des Reflexbogens sehr abhängig und nur das zweifelhaft ist, ob der vom Rückenmark ausgeübte Einfluss die Form

einer Reflexwirkung hat und eintritt, nachdem der Schlag versetzt worden, oder ob es ein fortlaufender Reflexeinfluss ist, welcher den Muskel dadurch vorbereitet, dass er seinen Tonus erhöht und ihn so für den durch den Schlag resultirenden Reiz empfänglicher macht.

Der Einwand, die Zeit sei zu kurz zu einer Reflexwirkung, ist bei unserer mangelhaften Kenntniss von Reflexzeiten im Allgemeinen nicht stichhaltig, und der Versuch, das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein eines Muskeltonus darzuthun, hat sich bislang als ein vergeblicher erwiesen. Die Thatsache indessen steht fest, dass das Vorhandensein des Kniestosses von der Integrität des Reflexbogens abhängt und überdies, dass der Umfang des Kniestosses von der Reizbarkeit des Rückenmarks bedeutend beeinflusst wird.

Ursachen der Variationen in der Ausdehnung des Kniestosses. — Es liegt nicht in der Absicht des Verfassers, seine Resultate als auf alle Menschen anwendbare Gesetze aufzustellen. Die die Ausdehnung des Kniestosses bestimmenden Einflüsse sind viel zu zahlreich und fein, um durch einige Tausend Versuche an einen beliebigen Menschen festgestellt zu werden. Wenngleich, wie bereits erwähnt, die Natur des Kniestosses nicht vollkommen verstanden wird, so wissen wir doch, dass er ein complicirter physiologischer Vorgang ist, welcher die Thätigkeit vieler verschiedener Organe in sich schliesst. Denn sowohl Versuche als auch die klinische Erfahrung haben zur Entdeckung geführt, dass die normale Thätigkeit des M. quadriceps, der entsprechenden zu- und ableitenden Rückgratnerven und deren Wurzeln, sowie eines gewissen Theiles des Rückenmarks zu dessen Vollständigkeit nothwendig sind. Da jede Bedingung, welche die Thätigkeit dieser verschiedenen Organe beeinflusst, nothwendiger Weise ihre Wirkung auf den Umfang des Kniestosses haben muss, so ist es nicht befremdend, dass das Phaenomen vielen Abweichungen unterliegt. Dies leuchtet um so mehr ein, wenn man bedenkt, wie viele Einflüsse die Thätigkeit des Nerven- und Muskelgewebes und noch mehr der zarten Mechanismen des Centralnervensystems fortwährend modificiren. Nicht wenige dieser Veränderungen haben ihren Ursprung in dem Einfluss, den die verschiedenen Theile dieses Systems aufeinander ausüben, und es ist kaum zu bezweifeln, dass die gegenseitige Abhängigkeit der Cerebrospinal-Centren weit grösser ist, als man gewöhnlich angenommen hat. In der That, es möchte fast scheinen, als ob die Verbindungen der Nerven so innig seien, dass eine Veränderung in der Thätigkeit irgend eines dieser Centren sich in allen übrigen fühlbar machen würde, als ob, um bildlich zu reden, eine Ausgleichung der Nervenspannung durch's ganze Nervensystem ginge, so dass eine Veränderung in irgend einem Theile in

allen übrigen Theilen gefühlt werden müsste. Wenn daher auch eine Vermehrung des Druckes, die aus einer plötzlichen Erzeugung von Nervenkraft entsteht, nach gewissen Richtungen hin auf geringeren Widerstand stossen und sich demnach hauptsächlich in diesen Richtungen fühlbar machen dürfte, so würde sie dennoch eine geringe Wirkung im ganzen System hervorbringen. Das Bild stellt einen Zustand der Dinge dar, dem ähnlich, welcher im circulatorischen System vorhanden ist, wo eine an irgend einem Theile herbeigeführte Veränderung des Druckes sich gern allen übrigen mittheilt. Es liegt dem Verfasser fern, eine Theorie der Wirkung dessen, was wir Nervenkraft nennen, bieten oder unterstützen zu wollen. Der Gedankengang ist jedoch von den Ergebnissen seiner eigenen und ähnlicher Experimente hervorgerufen worden, welche nachgewiesen haben, dass eine starke sensorische Reizung, eine freiwillige Thätigkeit oder selbst eine Gefühlsregung hinreichend ist, den Umfang des Kniestosses zu beeinflussen. Man weiss längst, dass das Nervensystem die zahlreichen Organe des Körpers zu einem Ganzen verbindet und dass der Zustand jedes Theiles durch dasselbe dahin gebracht wird, alle übrigen Theile zu beeinflussen; die Innigkeit dieser Verbindung aber ist nie mit so auffallender Deutlichkeit beleuchtet worden, wie es durch die unaufhörlichen Abweichungen des Kniestosses geschieht.

Die diagnostische Wichtigkeit des Kniestosses. — Es sind jetzt neun Jahre, seitdem Westphal und Erb das Fehlen des Kniestosses bei der Tabes dorsalis verkündet haben, und während dieser Zeit sind die Aerzte dahin gelangt, die Probe als Theil der regelmässigen Routine medicinischer Diagnose zu betrachten. Dennoch haben sie sich nie ganz dabei beruhigt. Trotz der Thatsache, dass Berger, als ein Ergebniss der Untersuchung von 1409 gesunden Individuen, berichtet hat, dass er nur in 1·56 Procent abwesend war, und dass Bernhard erklärt hat, er habe ihn in allen ausser zwei von 46 Fällen von Tabes, die er erforscht, abwesend gefunden, sind so viele widersprechende Berichte in medicinischen Journalen aufgetaucht und hat jeder praktizirende Arzt es so schwer gefunden, in den zweifelhaften Fällen befriedigende Resultate zu erlangen, dass der Kniestoss allmählich in Missgunst gerathen ist. Doch steht wahrscheinlich ein Umschwung bevor; denn die Entdeckungen der eben verflossenen vier Jahre bieten eine Erklärung vieler der scheinbar unerklärlichen Resultate und erweitern zugleich die Nützlichkeit des Symptoms.

Verstärkung des Kniestosses. — Im Jahre 1883 berichtete Ernst Jendrassik[1] seine Beobachtung, dass, wenn die Hände zusammengeballt

[1] Beiträge zur Lehre von den Sehnenreflexen. *Deutsches Archiv für klinische Medicin.* 1883. Bd. XXIII. S. 177.

wurden, gerade ehe das Ligamentum patellae geschlagen wurde, der resultirende Kniestoss grösser war, als wenn die Person ruhig war.

Jendrassik's interessante Entdeckung wurde zum Gegenstande der sorgfältigsten Forschung seitens der DDr. S. Weir Mitchell und Morris J. Lewis[1] gemacht, und diese waren im Stande, nicht nur seine Ergebnisse zu bestätigen, sondern auch nachzuweisen, dass der Kniestoss den weitesten Abweichungen selbst im gesunden Zustande unterliege, und dass diese Abweichungen wahrscheinlich in Folge von Veränderungen in der Thätigkeit der Nervencentren eintreten, von deren Integrität der Kniestoss abhängig befunden worden ist. Obgleich die Arbeit dieser Beobachter, soweit der Verfasser in der Lage gewesen ist sie zu prüfen, in jeder Einzelheit correct ist, ist sie doch mit einem gewissen Skepticismus aufgenommen worden, weil ihre merkwürdigen Resultate auf Beobachtung allein, und nicht auf irgendwelche Messungen, welche für andere beweisend sein können, sich stützen. Es ist in der That wunderbar, dass sie, der Fähigkeit der Hand vertrauend, eine Reihe von Schlägen von gleichmässiger Stärke zu versetzen, und dem Auge, geringe Verschiedenheiten im Umfang des Kniestosses zu beobachten, im Stande waren, so viele Thatsachen zu entdecken und die Entdeckung so vieler anderen mit Erfolg zu prophezeien. Diejenigen, welche keine so scharfe Beobachtungsgabe besitzen, erlangen ihre Ergebnisse mit Schwierigkeit und betrachten sie mit Zweifel, und sind halb geneigt, alles zu leugnen, ausgenommen die Resultate, die durch Experimente, wenn auch der gröbsten Art, erzielt werden können.

Die Experimente des Verfassers.

Es schien dem Verfasser, dass, ehe der Kniestoss seine ihm gebührende Stelle als Hülfsmittel zur medicinischen Diagnose, oder noch mehr als Mittel, die Einflüsse zu untersuchen, welche die Thätigkeit des Central-Nervensystems beeinflussen, einnehmen könne, man erstens eine Methode erfinden müsse, dem Ligamentum patellae einen Schlag von bekannter Stärke zu versetzen, und zweitens eine solche, die Grösse des resultirenden Kniestosses zu registriren. Wenn man sicher sein könnte, eine grosse Reihe von Versuchen hindurch dieselbe Anregung zu geben und Berichte über die resultirenden Bewegungen des Beines zu erlangen, so könnte man die Grenzen des normalen Kniestosses und die Abweichungen, die er unter normalen Bedingungen erleidet, endgiltig bestimmen. Von diesen Gedanken erfüllt, trat der Verfasser die in dieser Abhandlung berichtete Untersuchung an.

[1] Physiological Studies of the Knee-jerk and of the Reactions of Muscles under mechanical and other Excitants. *The Philadelphia Medical News.* 1886 13 and 20 Febr.

Der benutzte Apparat.

1. Ein Hammer, mit welchem es möglich war, einen Schlag von jeder beliebigen Stärke zu versetzen (siehe Fig. 1). Mehrere Methoden boten sich dar, mittels deren man dem Ligamentum patellae einen Schlag von beliebiger Stärke versetzen konnte. Von diesen war diejenige, welche sich nach Erprobung am meisten empfahl, die, einen Hammer an einer durch einen Stiel hindurchgehenden Axe aufzuhängen. Man konnte ihn dann nach Art eines Pendels herab fallen lassen, worauf er einen Schlag versetzen musste, dessen Stärke von dem Gewicht des Hammers und der Höhe, von welcher er fällt, abhinge.

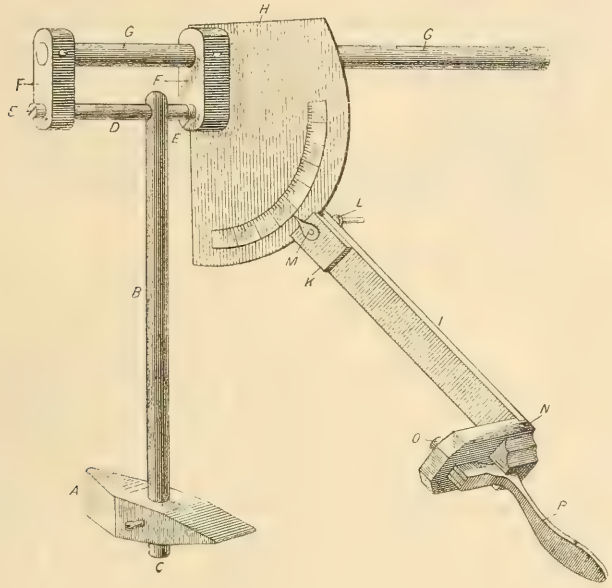


Fig. 1.

Zwei Werkzeuge von beinahe der nämlichen Construction wurden angewandt das eine in der ersten Versuchsreihe, das andere in der zweiten. Die Construction dieser Werkzeuge ist aus Fig. 1 ersichtlich und war im Allgemeinen wie folgt:

Der aus Eisen gefertigte Kopf des Hammers *a* war 10·5 cm lang, 2·5 cm breit und 2·5 cm dick und wog 346·5 grm. Er war an beiden Enden zu einer glatten abgerundeten Kante zugeschärft, wobei die eine Kante vertical und die andere horizontal war.

Der Stiel des Hammers *b*, eine Stange von Stahl, 22 cm lang und 1 cm im Durchmesser und 100 grm wiegend, ging durch eine Oeffnung, welche senkrecht durch die Mitte des Kopfes des Hammers gebohrt war, und ragte einige Millimeter von der Seite des Kopfes *c* hervor. Der Kopf war mittels einer Schraube an den Stiel befestigt und so gestellt, dass sein Mittelpunkt gerade 20 cm von der Mitte der Achse, welche den Hammer trug, entfernt war. Die Achse *d* ging durch den Stiel des Hammers, so nahe als möglich dessen oberem Ende. Es war eine stählerne Stange, 5 cm lang und 5mm im Durchmesser und an beiden Enden in Stahlspitzenlagern drehbar. Der Stiel

war ungefähr 1 cm von ihrem inneren Ende an der Axe befestigt. Die Schrauben *e e*, welche die Spitzenlager für die Achse bildeten, waren von zwei schweren Stücken Messing *f f* gehalten, die sich von der horizontalen Stahlstange *g g* nach unten erstreckten, welche den ganzen Apparat trug und selbst in beliebiger Höhe auf einem soliden Stativ mit schwerem eisernen Fuss eingeklemmt war. Eine Messingplatte *h*, 2·5 mm dick, war an ihrer oberen linken Ecke an die unterstützende Stange und an die Rückseite des schweren Messingstückes, welches den inneren Zapfen hielt, in einer Ebene parallel mit der, welche von dem Stiel des Hammers durchschnitten wurde, wenn er herabfiel, und mit dem Vordertheil nach dem Hammer zu gerichtet, befestigt. Die linke Kante der Platte war senkrecht, die obere horizontal und die rechten und unteren Ränder bildeten einen Bogen, dessen Mittelpunkt von einem durch die die Achse der Hämmer tragenden Zapfen durchschnitten werden würde. Ein Maassstab von 90° war auf diese Platte, 1 cm von ihrer gekrümmten Kante, eingravirt, derart, dass 0° der Mitte des Stieles des Hammers entsprach, wenn er in der Lage hing, die von der Schwerkraft bestimmt war.

An der Rückseite dieser Platte und parallel mit ihrer Oberfläche schwang an einer Achse, deren Centrum von einer durch die die Achse des Hammers tragenden Zapfen gezogenen Linie durchschnitten werden würde, ein schwerer Messingstreifen *i*, 3·8 mm dick, 25·5 cm lang und 2·5 cm breit.

Dieser schwingende Arm trug auf der Vorderseite ein kleines Messingschild *k*, welches eine Lippe hatte, die etwas über den gekrümmten Rand der Platte, auf welcher der Maassstab gravirt war, ragte. Dieses kleine Schild wurde auf dem Arm von zwei Stiften und einer Daumschraube *l* festgehalten, deren Kopf auf der Rückseite des Armes war. Wenn die Daumenschraube vollständig zugeschraubt war, drückte sie die Lippe wie eine Klammer fest auf den Rand der grossen Platte in irgend einer gewünschten Stelle nieder. Diese Klammer trug auf der Mitte ihrer Vorderseite einen Index *m*, dessen Spitze gegen den auf der grossen Platte eingravirten Maassstab gerichtet war und bestimmte die Lage des Armes.

Das freie Ende des Armes lief in einen Sperrhaken aus, mittels dessen der Hammer gehalten und leicht wieder losgelassen werden konnte, sobald man es wünschte. Dieser Sperrhaken hatte die folgende Construction, nämlich: Ein schwerer Messingklotz *n* war an das Ende des Armes in solcher Lage befestigt, dass das aus dem Hammerkopf hervorragende Ende des Stieles dicht über dessen Oberfläche schwang. Eine Stahlfeder drückte einen kleinen Stahlsperrhaken *o* durch eine Oeffnung in dem Messingklotz hinauf, sodass er etwas über die Oberfläche hinausragte und das Fallen des Hammers dadurch verhinderte, dass er den Stiel da erfasste, wo er aus dem Kopfe vorstand. Der untere Theil des Messingklotzes war weggeschnitten, um Platz für einen Hebel *p* zu machen, welcher die Gestalt eines umgekehrten L hatte und sowohl mit dem Ende eines kurzen Armes am unteren Ende des Sperrhakens, als auch mit der Stelle, wo die beiden Arme des L sich begegnen, an dem soliden Messingklotz, drehbar befestigt war. Mittels dieses Hebels konnte der Sperrhaken hinabgezogen und der Hammer losgelassen werden.

In allen in dieser Abhandlung berichteten Versuchen lag die Person mit ausgestrecktem Beine (S. Fig. 2), und insofern das Ligamentum patellae horizontal war, wurde der Schlag mit der senkrechten Kante des Hammers ausgeführt. In gewissen anderen Versuchen, in denen die Person mit herabhängenden Beinen sass, hatte das Ligamentum eine senkrechte Lage und der Kopf des Hammers musste herumgekehrt und dessen horizontale Kante benutzt werden.

2. Das Lager und die Stützen für den Schenkel und Fuss.[1] (S. Fig. 2 *b*.) Die folgenden Einrichtungen wurden getroffen, 1. um der Person eine durchaus bequeme Lage und Freiheit von allen vermeidbaren verstärkenden Einflüssen zu sichern; 2. den M. quadriceps vom Gewicht des Fusses zu befreien und dadurch seiner geringsten Contraction zu gestatten, eine sichtbare Bewegung hervorzubringen.

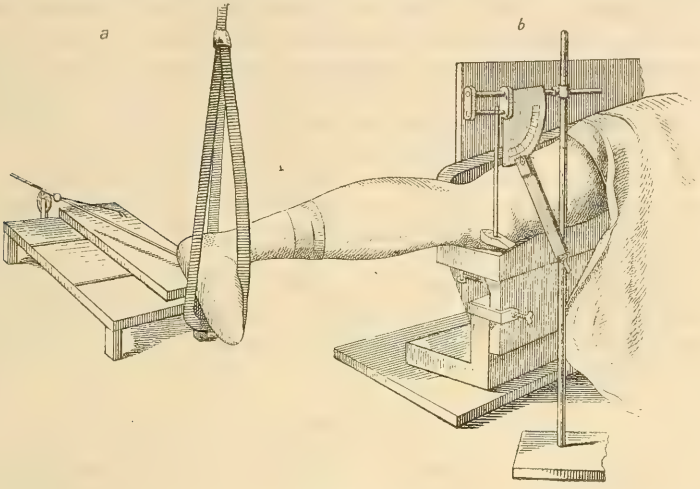


Fig. 2.

Der Mann, an welchem die Versuche angestellt wurden, lag auf der linken Seite, auf einem bequemen Lager von der Art, dass es den Rücken und den Kopf unterstützte. (S. Fig 2.) Der rechte Schenkel ruhte in einer Gipsschiene, so geformt, dass sie sich der inneren und hinteren Oberfläche anschloss und von solcher Höhe, dass sie das rechte Knie auf gleicher Höhe mit dem Hüftgelenk hielt. Der rechte Fuss wurde auf derselben Höhe von einer Schwinge, die an einer langen von der Decke herabhängenden Schnur befestigt war, erhalten.

3. Der registrirende Apparat. (S. Fig. 2 *a*.) Die Grösse des Kniestosses wurde in der Bewegung des Fusses offenbart, die er hervorbrachte, und der Umfang der Bewegung wurde automatisch registrirt.

Eine lange leichte, aber steife Stahlstange lief wagerecht rückwärts von der Decke, auf welcher der Fuss ruhte, und rechtwinkelig zu dem unteren Beine. Sie war an die Rückseite der Schwinge mittels eines Kugelcharniers befestigt nnd sie ruhte nahe ihrem freien Ende in der Fuge an der Peripherie eines Rades, welches sich so leicht drehte, dass es unter dem Gewicht der Stange rotirte, wenn diese nach vorne gezogen oder von dem schwingenden Fusse zurückgestossen wurde.

Eine Stahlnadel wurde an die Stange in rechten Winkeln zu derselben befestigt und schrieb mit ihrer Spitze auf einen Bogen Glanzpapiers, welcher auf ein Brett gespannt, mit dem Russ einer Gasflamme geschwärzt und wagrecht in geringer Entfernung unter die horizontale Stange gelegt worden war. Sobald der Fuss durch die plötzliche Contraction des M. quadriceps, welche dem Schlage auf das Band folgte, nach

[1] Die Einrichtungen waren die nämlichen, wie die vom Verfasser bei einer früheren Untersuchuug: „Ist der Kniestoss ein Reflexact?“ *The Amer. Journal f. Med. Sciences*, 1887 Januar, angewandten.

vorn gestossen wurde, ward die Nadel über das geschwärzte Papier hingezerrt und schrieb den Umfang der Bewegung auf. Wie der Muskel wieder erschlaffte, schwang der Fuss wieder zurück in seine anfängliche Lage, d. h. die, welche von der Spannung der antagonistischen Beuger und Strecker des Knies bestimmt wurde.

Die untere Fläche des Brettes, auf welche das Papier aufgezogen war, wurde von zwei Parallelfugen gekreuzt, die zwei Glasgleisen auf dem Tischchen, auf dem das Brett ruhte, entsprachen. Nach jedem Versuche liess man das Brett ein wenig nach links gleiten, um eine frische Oberfläche des Papiers unter die Nadel zu bringen. Das von der Nadel gemachte Zeichen registrirte, wenn das Brett so verschoben wurde, die Lage des Fusses, wenn Alles ruhig war, und gab eine Grundlinie an, von welcher aus man die Grösse der Fussbewegungen messen konnte. Bei Beendigung der Versuche wurden die so erlangten Registrirungen „fixirt", indem man sie durch eine Alkohollösung von braunem Schellack zog, und die Entfernung, bis zu welcher der Fuss als Resultat jedes Kniestosses sich bewegte, in Millimetern gemessen und tabellarisch geordnet wurde.

Bei den Versuchen, in denen die Wirkung des Athmens auf den Kniestoss erforscht wurde, war es nothwendig, dass die Registrirung auf einer beweglichen Oberfläche gemacht wurde; es wurde daher das geschwärzte Papier auf die Trommel des Kymographions gespannt.

Die Versuche.

Die Wirkung auf einander folgender Schläge von derselben und von verschiedener Stärke. — Die ersten mit dem beschriebenen Apparat gestellten Versuche bestanden darin, zu bestimmen, in wiefern die Grösse des Kniestosses von der Stärke des Schlages abhängt. Niemand, der es je versucht hat, das Phaenomen hervorzurufen, kann bezweifeln, dass dessen Umfang je nach der Stärke des Schlages verschieden ist; in unseren Versuchen aber wurde die Innigkeit des Verhältnisses nicht sofort sichtbar, weil wir sogleich der Schwierigkeit begegneten, welche uns während unserer ganzen Arbeit entgegenstand und zum grossen Theile noch immer ungelöst bleibt. Wir fanden nämlich, dass, wenn eine Anzahl Schläge von derselben Stärke in bestimmten Zwischenräumen aus genau derselben Richtung und auf den nämlichen Theil des Ligamentum patellae ausgeführt wurden, nicht zwei der sich ergebenden Kniestösse von demselben Umfange waren. Natürlich suchte man in der von Dr. L. Weir Mitchell und Dr. Morris J. Lewis beschriebenen Quelle der Verstärkung nach einer Erklärung, konnte aber keine solche finden. Die Person lag in vollständiger Ruhe in bequemer Lage und war sich keiner Reizung bewusst. Die Augen waren geschlossen, sämmtliche Muskeln waren passiv und der ganze Körper befand sich so viel als möglich in einem Zustande der Ruhe. Es wurde dann vorgeschlagen, dass die Stärke des Schlages vermehrt werde. Dies geschah, und obgleich ähnliche Abweichungen im Umfang des Kniestosses bemerkt wurden, so fand man doch, dass die Bewegungen im Ganzen grösser waren als vorher. Man ermittelte bald, dass, wenngleich Schläge

von derselben Stärke Kniestösse von sehr verschiedenem Umfange hervorriefen, die aus verschiedenen Gruppen von je zwanzig oder mehr, mittelst Führung von Schlägen von gewisser Kraft, angestellten Versuchen gewonnenen Durchschnitte fast genau die nämlichen waren, und ferner, dass, wenn die Kraft des Schlages vermindert wurde, die Durchschnitte solcher mit Schlägen von verschiedener Kraft angestellten Versuche grösser oder geringer waren, je nachdem die Stärke des Schlages vermehrt oder vermindert worden war. Die Resultate werden besser verstanden werden, wenn man Fig. 3 nachsieht.

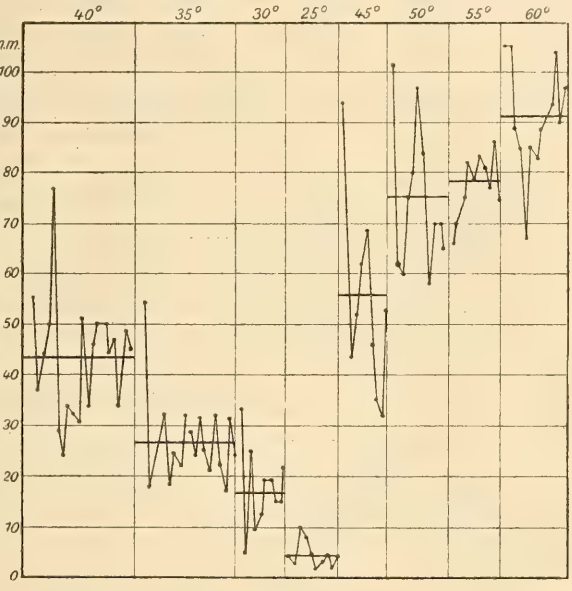


Fig. 3.
Den 30. März 1887. 9 Uhr 30 Minuten, Vormittags.

Die Grundlinie 0 zeigt die Lage der registrirenden Nadel, wenn das Bein ruhig ist, und jeder der durch die Curve verbundenen Punkte zeigt in Millim. die Entfernung, bis zu welcher der Fuss als ein Ergebniss eines Schlages auf das Ligamentum patellae sich bewegte. Die zusammengruppirten Versuche zeigen, wie verschieden der Umfang der Kniestösse sein kann, welche durch Schläge erzielt werden, die dieselbe Kraft haben und dadurch hervorgebracht werden, dass man den Hammer durch einen Bogen von der Anzahl von Graden fallen lässt, welche am oberen Theile der Tabelle angegeben sind. Die dicken horizontalen Linien, welche durch solche Gruppen gezogen sind, deuten den Durchschnitt der eingeschlossenen Versuche an.

Aufsuchen von Fehlern in dem angewandten Verfahren. — Die Thatsache, dass Schläge von derselben Stärke Kniestösse von sehr verschiedenartigem Umfange hervorrufen, war, wie bereits erwähnt, eine vollständige Ueberraschung für uns. Die sorgfältigste Prüfung liess eine mechanische Ursache nicht erkennen. Der Hammer fiel jedesmal von genau derselben Höhe und wurde in gerade derselben Weise losgelassen, und da im Apparat keine merkliche Reibung vorhanden war, so konnte nicht bezweifelt werden, dass er einen Schlag von bestimmter Stärke gab. Die Schläge wurden in Zwischenräumen von 15 Minuten ausgeführt, folglich konnten die Abweichungen nicht aus Ermüdung des Muskels entstehen.

Ueberdies war der Kniestoss oft grösser am Ende einer Reihe von Experimenten als am Anfang. Die einzige Gefahr des Irrthums schien in der Möglichkeit zu liegen, dass die Lage des Beins von Zeit zu Zeit etwas verändert war, und dass der Hammer das Band nicht jedesmal an derselben Stelle schlug. Diese Frage wurde sorgfältig erwogen, doch waren wir ausser Stande, zu finden, dass eine solche Veränderung der Lage vorhanden war. Ueberdies entdeckten wir, dass es in dem Umfang des Kniestosses keinen merklichen Unterschied machte, ob der Hammer genau die Mitte des Bandes traf, was wir immer anstrebten, oder ein wenig über oder unter diesem Punkte. Nachdem wir alle möglichen Quellen des Irrthums bei Seite geschoben, waren wir genöthigt zu schliessen, dass die Abweichungen, welche wir beobachteten, durch Veränderungen veranlasst wurden, die im Individuum vor sich gingen und die Wirkung der Mechanismen verstärkten, welche den Kniestoss hervorbringen. Spätere Versuche bewiesen, dass es an verstärkenden Einflüssen nicht fehle.

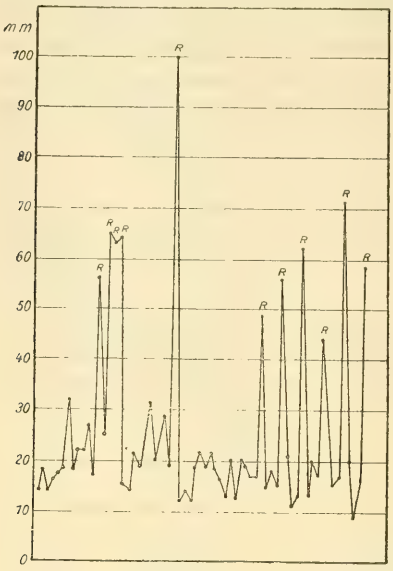


Fig. 4.
29. März, 10 Uhr Abends.

Die beobachteten Variationen wurden mit stark verstärkten Kniestössen verglichen, nachdem wir einmal angenommen, dass die beobachteten Abweichungen aus einem verstärkenden Einfluss entstanden. Hier waren wir neugierig, die grössten Kniestösse, welche wir erlangt hatten, als die Person vollständig ruhig war, mit denjenigen zu vergleichen, welche aus einigen der von Mitchell und Lewis beschriebenen kräftigen Formen der Verstärkung, wie die Hände zusammenballen oder die Zähne zusammenpressen, entstehen würden. Die Resultate einiger Versuche, in denen die durch Aufeinanderpressen der Zähne verursachten Verstärkungen mit während der Ruhe erzielten Kniestössen verglichen wurden, sind aus Fig. 4 ersichtlich. Wäre eine noch wirksamere Verstärkungsform angewandt worden, so würden wahrscheinlich noch grössere Unterschiede beobachtet worden sein. Die verstärkten Kniestösse, welche aus freiwilligem Zusammenpressen der Zähne entstanden, waren so umfangreich, dass sie uns überzeugten, dass die unbekannten Quellen der Verstärkung, welche den Kniestoss fortwährend beeinflussten, vergleichsweise schwache Phaenomene waren.

Ziel der Versuche der Serie I. — Es war eine grosse Versuchung für uns, sofort mit der Erforschung der Wirkungen der verschiedenen Arten den Kniestoss zu verstärken zu beginnen; wir widerstanden jedoch dem Drange, da wir wussten, es sei weit wichtiger, eine sichere Grundlage zu solcher Arbeit durch geduldige und sorgfältige Forschung nach dem Umfang des normalen Kniestosses zu legen, in den Fällen, wo er solchen steigernden Einflüssen nicht ausgesetzt ist. Wir beschlossen daher, eine Reihe von Versuchen anzustellen, die sich über viele Tage erstrecken und den Umfang des Kniestosses bei einem Manne bestimmen sollten, der gesund ist und seine gewöhnliche regelmässige Lebensweise führt. Wir konnten nicht umhin zu hoffen, dass sich viele der gewöhnlicheren Verstärkungsformen im Laufe solcher Versuche uns offenbaren würden.

Ausführung der Versuche. — Eine solche Untersuchung wurde demgemäss vorgenommen. Die Versuche wurden am Verfasser angestellt. Sie erstreckten sich vom 1. April bis zum 14. April einschliesslich.[1] Die Beschaffenheit des Kniestosses wurde siebenmal des Tages geprüft und fünfundzwanzig Versuche wurden bei jeder Prüfung vorgenommen. Die zu den Versuchen gewählten Stunden waren wie folgt, nämlich: 8 Uhr 15 Min. Vormittags, sofort nach dem Aufstehen; 9 Uhr 15 Min. Vormittags, bald nach dem ersten Frühstück; 1 Uhr 15 Min. Nachmittags, gerade vor dem zweiten Frühstück; 2 Uhr 15 Min. Nachmittags nach dem zweiten Frühstück; 6 Uhr 15 Min. Nachmittags, gerade vor dem Mittagsessen; 8 Uhr Abends, bald nach dem Mittagsessen und 11 Uhr Nachts, gerade vor dem Schlafengehen. Aus verschiedenen Gründen war es nicht immer möglich, die Versuche zu genau der hier verzeichneten Zeit anzustellen, selten aber wich die Versuchszeit eine halbe Stunde von der gegebenen ab. Die Gesammtzahl der Prüfungen in dieser Reihe war 93, und die Gesammtzahl der Versuche 2321. Die vielen Versuche, die zu anderer als den verzeichneten Zeiten angestellt wurden, sind in diesen Ziffern nicht mit eingeschlossen.

Bei jedem dieser Versuche wurde der Hammer so placirt, dass, wenn er frei hing, er gerade die Haut über der Mitte des Bandes berührte. Er wurde dann durch einen Bogen von 40° gehoben und am Sperrhaken ruhen gelassen.

Im richtigen Augenblick wurde er mittels einer geringen Bewegung des Hebels losgelassen und da er stets von der nämlichen Höhe herab-

[1] Während des ganzen Zeitraumes führte der Verfasser ein regelmässiges Leben; er stand auf und ging zu Bett zur gewöhnlichen Zeit, verrichtete seine alltägliche Arbeit, genoss auch seine gewohnte Kost. Doch muss bemerkt werden, dass während dieser Zeit kein Wein oder Bier getrunken, aber eine Tasse Kaffee zum Frühstück und Mittagessen und eine Tasse Thee zum zweiten Frühstück genommen wurde. Der Verfasser rauchte nach seiner Gewohnheit eine oder zwei Cigarren täglich.

fiel, versetzte er stets einen Schlag von derselben Stärke. Die Schläge wurden in Zwischenräumen von 15 Minuten geführt und trafen jedesmal denselben Theil des Bandes. Der Genauigkeit wegen wurden alle Versuche am nackten Beine angestellt, obgleich die Prüfung ergab, dass fast die nämlichen Resultate erzielt werden konnten, wenn das Knie von einem dünnen Ueberzug von Bekleidung bedeckt war. Während sämmtlicher Versuche lag die Person mit geschlossenen Augen in einer durchaus bequemen Lage und vermied, so weit es möglich war, nicht nur alle freiwilligen Bewegungen, sondern lenkte auch seine Gedanken vom Versuche ab und auf einen gleichgiltigen Gegenstand hin. Während der früheren Versuche wurde jeder der Hammerschläge deutlich empfunden; später jedoch wurden sie kaum bemerkt und in vielen Fällen schlief die Person vor dem Ende der Prüfung fast, wenn nicht ganz ein.

Die folgenden Tabellen geben so weit als möglich einen genauen Bericht über die Versuche und den Zustand der Person zur Zeit, wo jede Prüfung vorgenommen wurde. Der Umfang der durch den Kniestoss entstehenden Fussbewegung wurde genau nach Millimetern gemessen und in Tabellen gebracht; insofern jedoch als dem Leser keine richtige Vorstellung von den verborgenen Einflüssen beigebracht werden kann, welche den Umfang jedes einzelnen Kniestosses bestimmten, schien es wenig vortheilhaft zu sein, alle diese Messungen zu berichten und ist hier nur der Durchschnitt der bei jeder Prüfung angestellten Versuche gegeben. In den meisten Fällen in der That blieben die feinsten Einflüsse, welche den Umfang des Kniestosses bestimmten, unentdeckt; doch zuweilen offenbarten sie sich in unerwarteter Weise, und diese Entdeckungen bilden eine höchst interessante und wichtige Bereicherung der Physiologie des Kniestosses und des Centralnervensystems. Diese Resultate werden später in dieser Abhandlung berichtet werden.

Erklärung der Tabellen. — Jede Tabelle zerfällt in drei Rubriken, die erste, Kniestoss überschrieben, enthält die Resultate der Versuche, die zweite, Auszüge aus dem Tagebuch überschrieben, giebt in Kürze die Art und Weise, in welcher die Person den Tag hinbrachte und daher eine Vorstellung von ihrem Zustande zur Zeit der Prüfung, und die dritte, U. S. A. Wetterbeobachtungen überschriebene Rubrik berichtet den Witterungszustand des Morgens, Nachmittags und Abends. In der ersten Spalte der ersten Rubrik der Tabelle sind die Zeiten, zu welchen die Prüfungen vorgenommen wurden, eingetragen; in der zweiten Spalte ist die Zahl der zu jeder Zeit angestellten Versuche berichtet; in der dritten ist der durchschnittliche Umfang des Kniestosses, wie er bei diesen Versuchen bestimmt worden, in Millimetern verzeichnet; in der vierten sind die kleinsten und grössten bei der Prüfung erlangten Kniestösse gezeigt, und in der fünften ist in der Zahl der Grade, durch welche der Hammer fiel, der geringste Schlag angegeben, mittels dessen ein erkennbarer Kniestoss erzielt zu werden vermochte. Am unteren Ende der zweiten Spalte ist die Gesammtzahl der während des Tages angestellten Versuche gegeben; nächst diesem unter Spalte 3 ist der durchschnittliche Kniestoss für den Tag, wie er von der Gesammtzahl der Versuche bestimmt ist, verzeichnet; neben diesem sind die äussersten Abweichungen des an diesem Tage mit dem Schlage von natürlicher Stärke, d. h. wenn der Hammer durch einen Bogen von 40° fiel, erlangten Kniestosses vermerkt, und schliesslich unter Spalte 5 wird gesagt, welches der geringste Schlag war, der zu irgend einer Tageszeit fähig war, einen sichtbaren Kniestoss hervorzubringen.

Tabelle 1. Serie I. — 1. April 1887.

Kniestoss					Auszüge aus dem Tagebuch	U. S. A. Wetterbeobachtungen					
Zeit der Prüfung	Zahl d. Versuche	Durchschnittl. Bewegung i. Mm	Grenzwerthe	Leichtester wirksamer Schlag	Wohl und kräftig	Zeit	Barometer	Thermometer	Relat. Feuchtigk.	Wind	Wetter
8·30 Vorm.	25	36	20—48	27°	Eben aufgestanden und halb im Schlaf.	7 Vorm.	30·150	31°	84	n.	lcht. Schnee
9·45 „	18	88	55—120	20°	Unmittelbar nach dem ersten Frühstück.						
1·15 Nachm.	12	111	90—130	20°	Den Morgen mit Schreiben verbracht.						
2·15 „	20	68	29—93	23°	Unmittelbar nach dem zweiten Frühstück.	3 Nachm.	30·089	36°	87	n. o.	lcht. Schnee
6·15 „	23	49	10—78	26°	Den Nachm. m. Schreiben verbr., Kopf müde.						
8·15 „	26	44	16—75	29°	Unmittelbar nach dem Mittagessen.						
10·30 „	25	45	22—60	30°	Den Abend m. Schreiben und Lesen verbr.	10 Nachm.	30·036	34°	88	n.	lcht. Schnee
	149	63	10—130	25°		Mittlerer	30·092	34°			

Tabelle 2. Serie I. — 2. April 1887.

					Wohl, aber etwas ermüdet von der gestrigen Arbeit.						
8·15 Vorm.	26	28	12—42	29°	Eben aufgestanden — schlafe wieder?	7 Vorm.	29·907	34°	89	n. w.	lcht. Schnee
9·45 „	24	72	45—93	26°	Nach dem ersten Frühstück.						
1·15 Nachm.	23	63	31—94	24°	Den Morgen mit Schreiben verbracht.						
2·30 „	27	52	26—75	28°	Unmittelbar nach dem zweiten Frühstück.	3 Nachm.	29·789	52°	38	n. w.	klar
6·15 „	22	23	7—50	35°	Den Nachmittag mit Schreiben hingebracht 1 Stunde spazieren gegangen.						
8·15 „	27	33	9—62	30°	Unmittelbar nach dem Mittagessen.						
10·30 „	20	58	37—91	30°	Abends mit Freunden Deutsche Lecture.	10 Nachm.	29·941	46°	38	n.	klar
	169	47	7—94	29°		Mittlerer	29·879	44°			

Tabelle 3. Serie I. — 3. April (Sonntag) 1887.

Zeit der Prüfung	Kniestoss: Zahl d. Versuche	Durchschnittl. Bewegung i. Mm.	Grenzwerthe	Leichtester wirksamer Schlag	Auszüge aus dem Tagebuche: Wohl, fühle mich aber träge	U. S. A. Wetterbeobachtungen: Zeit	Barometer	Thermometer	Relat. Feuchtigk.	Wind	Wetter
9·30 Vorm.	25	40	33—52	25°	Eben auf, schon eine Stunde wach.	7 Vorm.	30·093	43°	55	n. w.	klar
10·15 „	24	64	45—80	26°	Unmittelbar nach dem Frühstück.						
2·15 Nachm.	27	39	21—65	28°	Den Morgen mit Schreiben und Lesen verbracht; keine schwere Arbeit verrichtet.						
3·30 „	25	74	39—103	25°	Unmittelbar nach dem Mittagessen.	3 Nachm.	29·992	64°	34	s. w.	klar
6·15 „	27	33	9—61	30°	Unmittelbar nach Rückkehr von einem zweistündigen Spaziergang.						
7·30 „	24	57	27—88	25°	Unmittelbar nach dem Thee.						
10·45 „	26	18	8—30	35°	Den Abend mit Schreiben und Unterhaltung verbracht.	10 Nachm.	29·980	49°	66	w.	klar
	178	47	8—103	28°		Mittlerer	30·022	52°			

Tabelle 4. Serie I. — 4, April 1887.

					Ausgeruhter als gestern. Ein entnervender Tag.						
8·15 Vorm.	25	31	7—49	32°	Eben aufgestanden und sehr schläfrig.	7 Vorm.	29·928	48°	74	s.	klar
9·15 „	25	73	43—100	26°	Unmittelbar nach dem Frühstück.						
1·15 Nachm.	25	20	6—39	34°	Ich bewege mich, lese und spreche.						
2·15 „	25	24	7—48	30°	Unmittelbar nach dem zweiten Frühstück.	3 Nachm.	29·724	76°	28	s. w.	klar
6·15 „	25	27	11—44	36°	Nachmittags im Laboratorium.						
9·20 „	27	21	10—42	37°	Eine Stunde nach dem Mittagessen.						
11·00 „	25	22	10—31	37°	Ein stiller und ruhiger Abend.	10 Nachm.	29·771	58°	61	n. w.	wolkig
	177	31	6—100	33°		Mittlerer	29·808	61°			

Tabelle 5. Serie I. — 5. April 1887.

Kniestoss: Zeit der Prüfung	Zahl d. Versuche	Durchschnittl. Bewegung i. Mm.	Maxima	Leichtester wirksamer Schlag	Auszüge aus dem Tagebuche	U. S. A. Wetterbeobachtungen: Zeit	Barometer	Thermometer	Relat. Feuchtigk.	Wind	Wetter
					Wohl, aber nicht sehr energisch						
8·15 Vorm.	21	19	10—30	35°	Eben aufgestanden und sehr schläfrig.	7 Vorm.	29·908	45°	41	n. w.	schön
9·15 „	25	51	42—60	30°	Bald nach dem Frühstück.						
1·30 Nachm.	13	27	14—47	32°	Den Morgen mit Schreiben verbracht.						
2·30 „	25	43	21—75	27°	Bald nach dem zweiten Frühstück.	3 Nachm.	30·019	38°	59	n. w.	wolkig
6·30 „					Schrieb bis fünf, dann ging ich eine Stunde spazieren.						
7·45 „	24	57	4—82	29°	Unmittelbar nach dem Mittagsessen.						
10·30 „	27	23	12—41	35°	Gehe aus und mache einen Besuch; lese laut.	10 Nachm.	30·187	31°	50	n. w.	klar
	135	37	4—82	31°		Mittlerer	30·038	38°			

Tabelle 6. Serie I. — 6. April 1887.

					Wohl.						
8·15 Vorm.	25	23	12—38	31°	Eben aufgestanden.	7 Vorm.	29·332	32°	61	n. w.	schön
8·30 „	25	51	31—72	27°	Vor dem Frühstück und nach dem Bade.						
9·30 „	24	79	56—105	25°	Unmittelbar nach dem Frühstück						
1·15 Nachm.	25	49	20—70	27°	Den Morgen damit verbracht, einen Besuch zu machen und zu schreiben.						
2·30 „	26	54	25—82	26°	Unmittelbar nach dem zweiten Frühstück.	3 Nachm.	30·300	48°	26	n. w.	klar
6·15 „	25	15	7—31	37°	Nachmittag stehend und plaudernd verbr.						
8·00 „	24	32	12—54	30°	Unmittelbar nach dem Mittagsessen.						
11·00 „	24	29	18—55	37°	Den Abend mit deutsch Lesen mit Freunden verbracht. Um 10·30 das Experiment mit Musik.	10 Nachm.	30·352	41°	39	s.	klar
	198	47	7—105	34°		Mittlerer	30·328	40°			

Tabelle 7. Serie I. — 7. April 1887.

Kniestoss					Auszüge aus dem Tagebuche	U. S. A. Wetterbeobachtungen					
Zeit der Prüfung	Zahl d. Versuche	Durchschnittl. Bewegung i. Mm.	Maxima	Leichtester wirksamer Schlag	Des Morgens fühle ich mich wohl und kräftig, werde aber gegen Mittag nervös, so dass ich bei Geräusch leicht auffahre.	Zeit	Barometer	Thermometer	Relat. Feuchtigk.	Wind	Wetter
8·15 Vorm.	26	29	18—38	36°	Eben aufgestanden.	7 Vorm.	29·437	38°	60	n.	wolkig
9·30 „	25	71	45—96	22°	Nach dem Frühstück u. e. ernsten Gespräch.						
1·15 Nachm.	24	66	39—92	22°	Den Morgen mit Schreiben verbracht. Kopf schwindlich.						
2·15 „	25	34	9—57	25°	Unmittelbar nach dem zweiten Frühstück.	3 Nachm.	30·442	50°	34	o.	wolkig
6·30 „	25	31	10—75	30°	Den Nachmittag mit Schreiben verbr. gehe ½ Std. spazieren; Kopf u. Augen müde.						
8·00 „	25	52	32—72	29°	Nach d. Mittagessen u. e. ernsten Gespräch.						
11·00 „	25	32	18—58	32°	Schreibe bis 10, lese dann 1 Stunde laut.	10 Nachm.	30·552	45°	60	o.	wolkig
	175	45	9—96	28°		Mittlerer	30·477	44°			

Tabelle 8. Serie I. — 8. April 1887.

					Wohl, aber etwas müde.						
8·45 Vorm.	25	22	7—40	37°	Eben aufgestanden.	7 Vorm.	29·680	41°	66	n. o.	wolkig
9·45 „	25	70	53—87	27°	Unmittelbar nach dem Frühstück.						
1·15 „	28	29	5—87	31°	Schrieb eine kurze Zeit; ging spazieren.						
2·15 „	25	42	17—71	27°	Unmittelbar nach dem zweiten Frühstück.	3 Nachm.	30·566	54°	41	s. o.	klar
6·15 „	25	44	29—74	22°	Schreibe, mache Besuche, schreibe.						
8·30 „	28	51	30—72	25°	Unmittelbar nach dem Mittagessen.						
11·30 „	27	43	22—68	30°	Ein ruhiger Abend.	10 Nachm.	30·536	45°	55	s.	klar
	183	43	5—87	28°		Mittlerer	30·577	46°			

Tabelle 9. Serie I. — 9. April 1887.

Kniestoss.					Auszüge aus dem Tagebuche	U. S. A. Wetterbeobachtungen				
Zeit der Prüfung	Zahl d. Versuche	Durchschnittl. Bewegung i. Mm.	Maxima	Leichtester wirksamer Schlag	Wohl und kräftig.	Zeit	Barometer	Thermometer	Relat. Feuchtigk.	Wind	Wetter
8·00 Vorm.	26	35	15—50	28°	Eben aufgestanden.	7 Vorm.	30·525	39°	80	s.	klar
9·00 „	25	71	48—100	26°	Unmittelbar nach dem Frühstück.						
1·15 Nachm.	26	37	11—72	27°	Ein arbeitsvoller Morgen; Kopf- und Rückenschmerzen.						
2·15 „	25	36	13—64	26°	Unmittelbar nach dem zweiten Frühstück.	3 Nachm.	30·348	61°	54	s. o.	klar
6·15 „	25	21	8—49	35°	Den Nachmittag mit Schreiben verbracht; gehe eine Stunde spazieren.						
8·15 „	26	33	15—68	13°	Unmittelbar nach dem Mittagessen.						
10·30 „	25	14	7—27		Ein Spaziergang; lese; der Abend ist schwül.	10 Nachm.	30·276	51°	61	s.	klar
	178	35	7—100	29°		Mittlerer	30·383	50°			

Tabelle 10. Serie I. — Sonntag, 10. April 1887.

					Wohl.						
8·15 Vorm.	25	13	6—31	39°	Eben aufgestanden.	7 Vorm.	30·212	45°	59	s.	klar
9·30 „	25	53	30—74	31°	Bald nach dem Frühstück.						
1·30 Nachm.	25	26	5—71	33°	Kirche; ein kurzer Spaziergang.						
3·30 „	26	44	17—76		Bald nach dem Mittagessen.	3 Nachm.	30·093	83°	25	n. w.	klar
7·45 „	16	31	18—52		Nach einem zweistündigen Spaziergange.						
11·00 „	27	17	6—39	37°	Nach einem ruhigen Abende.	10 Nachm.	30·077	65°	48		klar
	144	31	5—76	35°		Mittlerer	30·127	67°			

Tabelle 11. Serie I. — 11. April 1887.

Kniestoss					Auszüge aus dem Tagebuche	U. S. A. Wetterbeobachtungen					
Zeit der Prüfung	Zahl d. Versuche	Durchschnittl. Bewegung i. Mm.	Maxima	Leichtester wirksamer Schlag	Wohl, Samenausfluss diesen Morgen früh.	Zeit	Barometer	Thermometer	Relat. Feuchtigk.	Wind	Wetter
8·15 Vorm.	25	9	4—27	39°	Eben aufgestanden.	7 Vorm.	30·108	61°	49	w.	klar
9·30 „	25	40	12—56	30°	Bald nach dem Frühstück.						
1·15 Nachm.	25	23	5—61	35°	Den Morgen mit Schreiben und Unterhaltung verbracht.						
2·30 „	25	41	21—69	30°	Unmittelbar nach dem zweiten Frühstück.	3 Nachm.	30·024	83°	23	w.	klar
6·15 „	25	27	0—50	33°	Den Nachmittag mit Schreiben verbracht.						
8·00 „	26	25	10—57	35°	Unmittelbar nach dem Mittagsessen.						
11·15 „	25	20	9—32	36°	Ein Spaziergang; lasse mir vorlesen.	10 Nachm.	30·097	72°	34	n.w.	klar
	176	27	0—69	34°		Mittlerer	30·076	72°			

Tabelle 12. Serie I. — 12. April 1887.

					Wohl.						
8·30 Vorm.	27	20	3—42	37°	Eben aufgestanden und sehr schläfrig.	7 Vorm.	30·273	58°	67	n. o.	klar
9·30 „	25	57	38—78	27°	Unmittelbar nach dem Frühstück.						
1·15 Nachm.	26	21	9—41	33°	Den Morgen stehend und gehend verbracht.						
2·30 „	21	42	25—60	29°	Bald nach dem zweiten Frühstück.	3 Nachm.	30·216	65°	52	s. o.	klar
6·15 „	25	29	6—65	33°	Nachmittag im Laboratorium. Einen grossen Theil dieser Zeit auf den Beinen.						
8·00 „	25	34	16—71	30°	Bald nach dem Mittagsessen.						
12·00 „	16	10	3—24	33°	Abend mit Freunden. Gehe 1 Meile spaz.	10 Nachm.	30·253	51°	68	o.	schön
	165	30	3—78	32°		Mittlerer	30·247	58°			

Tabelle 13. Serie I. — 13. April 1887.

Kniestoss					Auszüge aus dem Tagebuche	U. S. A. Wetterbeobachtungen					
Zeit der Prüfung	Zahl d. Versuche	Durchschnittl. Bewegung i. Mm.	Maxima	Leichtester wirksamer Schlag	Wohl	Zeit	Barometer	Thermometer	Relat. Feuchtigk.	Wind	Wetter
8·45 Vorm.	24	25	11—50	31°	Eben aufgestanden.	7 Vorm.	30·295	47°	89	o.	wolkig
9·30 „	15	74	57—106	22°	Bald nach dem Frühstück.						
1·00 Nachm.	24	44	25—71	26°	Ein arbeitsvoller Morgen.						
2·30 „	25	46	24—69		Bald nach dem zweiten Frühstück.	3 Nachm.	30·266	58°	59	s. o.	klar
6·30 „	25	42	13—74	25°	Den Nachmittag mit Schreiben verbracht.						
8·00 „	25	50	27—76	25°	Unmittelbar nach dem Mittagsessen.						
11·00 „	29	20	3—41	33°	Den Abend mit Freunden verbracht.	10 Nachm.	30·351	46°	64	s. o.	schön
	167	43	3—106	27°		Mittlerer	30·304	41°			

Tabelle 14. Serie I. — 14. April 1887.

					Wohl.						
8·30 Vorm.	27	20	7—42	35°	Eben aufgestanden.	7 Vorm.	30·317	44°	67	s. o.	schön
9·15 „	25	53	33—79	20°	Unmittelbar nach dem Frühstück.						
1·15 Nachm.	25	42	14—63	24°	Den Morgen mit Schreiben verbracht.						
1·45 „	25	41	26—64	25°	Nach dem zweiten Frühstück.	3 Nachm.	30·184	56°	43	s. o.	klar
6·30 „	24	16	3—33	34°	Schrieb bis 5, ging 1 Stunde spazieren.						
8·15 „	25	36	16—64	30°	Unmittelbar nach dem Mittagsessen.	10 Nachm.	30·140	49°	65	s. o.	klar
	151	35	3—79	28°		Mittlerer	30·216	50°			

Die gewöhnliche Erfahrung lehrt uns, dass, wenn man sich wohl befindet, drei Haupteinflüsse vorhanden sind, welche die Thätigkeit des Körpers herabmindern: Müdigkeit, Hunger und deprimirendes Wetter; während Ruhe, eine Mahlzeit und kräftigendes Wetter die Thätigkeit vermehren. Auch hat man erfahren, dass, selbst wenn das Allgemeinbefinden durch diese Einflüsse herabgedrückt ist, es durch irgend einen Anlass zu geistiger Aufregung vorübergehend gehoben, und dass, wenn es in einem kräftigen Zustande ist, es durch Schläfrigkeit zeitweilig herabgestimmt werden kann.

Man setze in den obigen Angaben das Wort Kniestoss an die Stelle von Thätigkeit des Körpers, und sie werden eben so wahr sein. Diese Thatsachen wurden in unseren Versuchen durch eine Abnahme des Kniestosses im Laufe des Tages beleuchtet, welche zur Stunde der Mahlzeiten unterbrochen wird und durch Veränderungen im Wetter, Müdigkeit und Ursachen geistiger Aufregung einen Wechsel erfährt.

Erklärung der Tabelle, Fig. 5, welche alle Abweichungen des Kniestosses zeigt, die im Laufe eines Tages dieser Versuchsreihe vorkamen. — Bevor er die Resultate der Versuche als Ganzes darlegt, wünscht der Verfasser die grosse Zahl von Abweichungen, denen der Kniestoss im Laufe eines einzigen Tages ausgesetzt ist, noch klarer zu beleuchten.

Die folgende Tabelle zeigt den Umfang der Fussbewegung in Millimetern in jedem im Laufe eines Tages vorgenommenen Versuche. Alle zur Zeit seiner einzelnen Prüfung angestellten Versuche sind unter den Ziffern zusammen gruppirt, welche die Zeit andeuten, zu welcher die Prüfung vorgenommen wurde. Jeder Punkt bezeichnet einen einzelnen Kniestoss, und die verbindenden Linien sind gezogen, um das Auge in den Stand zu setzen, die Grösse der Abweichungen um so leichter zu überblicken. Die dicken wagerechten Linien zeigen den Durchschnitt aller Versuche, durch welche sie gezogen sind. Auf der Tabelle sind oben die Tagesereignisse kurz angegeben, und mitten in derselben finden sich Bemerkungen, welche Verstärkungen erklären, deren Ursachen man glaubte erkannt zu haben.

Prüfung der Tabelle. — Auf den ersten Blick ersieht man, dass, zu welcher Zeit auch die Prüfung vorgenommen wurde, die Grösse des Kniestosses in aufeinander folgenden Versuchen sehr abwich. Auch bemerkt man, dass der Durchschnitt der Versuche, welche angestellt wurden, wenn die Person eben aufgestanden, aber nicht gänzlich wach war, niedrig war, dass er bei der 15 Minuten später vorgenommenen Prüfung, nachdem das Bad genommen worden, höher war, und dass er eine Stunde später, unmittelbar nach dem Frühstück, noch höher war. Von da ab indessen nahm der Kniestoss ab und war beträchtlich niedriger vor dem zweiten Frühstück, und wenn auch etwas höher nach demselben, doch sehr viel niedriger unmittelbar

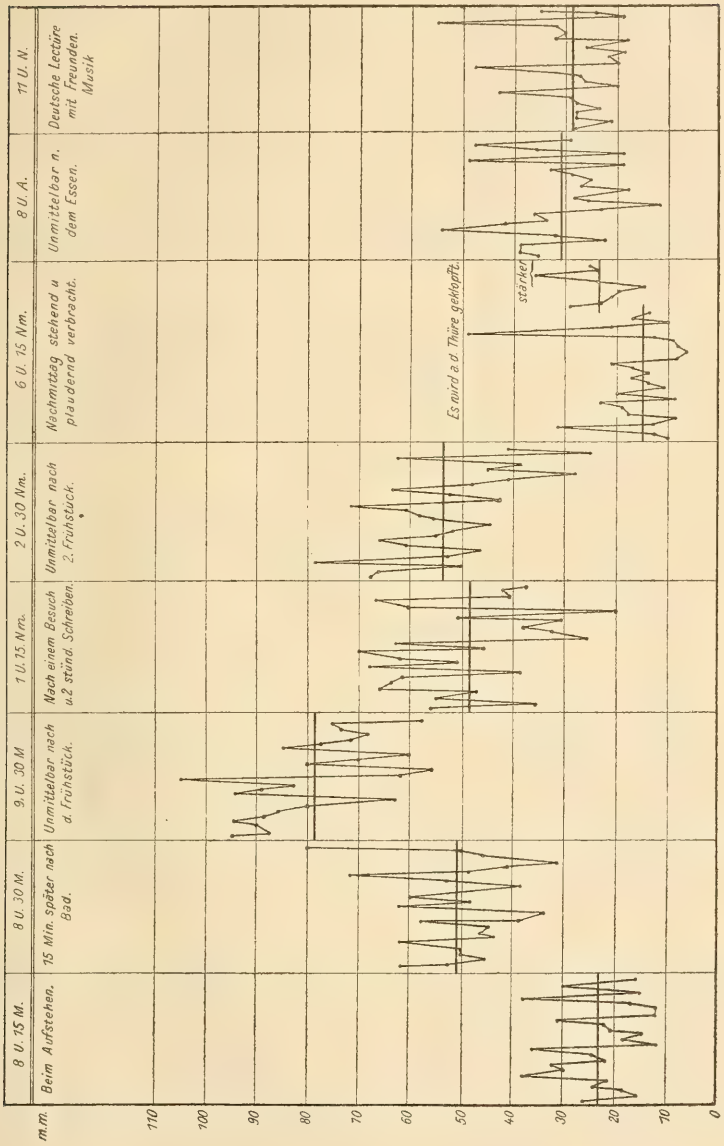


Fig. 5.

vor dem Mittagessen. Nach dem Mittagessen erholte er sich etwas, doch nur um wieder zu sinken, wenn auch nur ein wenig, und zur Schlafenszeit war er bedeutend geringer als unmittelbar nach dem Frühstück, und sogar geringer, als er war, gerade nachdem das Bad vor dem Frühstück genommen worden war.

Nach diesem einen Tage zu urtheilen, besteht also ein grosser Unterschied in der Grösse des Kniestosses selbst bei hintereinander folgenden Versuchen und ein noch grösserer zwischen Versuchen, die zu verschiedenen Tageszeiten angestellt werden, so dass der Kniestoss am grössten unmittelbar nach dem Frühstück und, trotz der Thatsache, dass jede Mahlzeit dazu dient, ihn zu vergrössern, viel niedriger zur Schlafenszeit ist.

Die Erörterung der Verstärkungen, welche während dieses Tages beobachtet wurden, ist auf eine spätere Stelle in dieser Abhandlung verschoben worden.

Veränderung des Kniestosses im Laufe eines Tages. — Ist die am 6. April beobachtete Abweichung des Kniestosses im Laufe des Tages ein beständiges Phaenomen? Diese Frage wird in der folgenden Tabelle der Durchschnittswerthe, welche nach sämmtlichen in dieser Reihe angestellten Versuchen zusammengestellt ist, beantwortet.

Erklärung der Tabelle (S. 315). — In der ersten Spalte der Tabelle ist das Datum der Versuche angegeben und in der ersten Zeile die Tagesstunden, an welchen die Prüfungen vorgenommen wurden. Unter den Stunden, auf derselben Zeile wie die Daten, ist das Mittel sämmtlicher in den sieben Prüfungen des entsprechenden Tages angestellten Versuche aufgestellt. Die Tabelle ermöglicht es daher, leicht die Ergebnisse aller an jedem Tage und aller zur nämlichen Stunde an verschiedenen Tagen angestellten Versuche zu vergleichen. Am unteren Ende der Tabelle, unter den Stunden, ist der Durchschnitt sämmtlicher zur selben Stunde an allen verschiedenen Tagen der Reihe angestellten Versuchen gegeben. Ausserdem zeigt die Tabelle die durchschnittliche Grösse des Kniestosses für jeden Tag; die Anzahl der an jedem Tage vorgenommenen Prüfungen und Versuche und den mittleren Barometer- und Thermometerstand für jeden Tag. Schliesslich ist am unteren Ende der Tabelle unter diesen der durchschnittliche Kniestoss gegeben, welcher sich aus sämmtlichen Experimenten der Serie ergiebt, sowie der mittlere Barometer- und Thermometerstand während der zwei betreffenden Wochen.

Ein auch nur flüchtiger Blick auf die Tabelle zeigt, dass die niedrigsten Durchschnittswerthe bei Prüfungen erlangt worden sind, die am Beginn und Ende jedes Tages vorgenommen wurden. Da jedoch die erste Prüfung vorgenommen wurde, als die Person eben erst aufgestanden und noch halb im Schlafe war, während alle übrigen vorgenommen wurden, nachdem sie vollständig erwacht war, möchte es scheinen, dass die erste Prüfung, wenngleich von grossem Interesse, doch kaum mit den übrigen zu vergleichen sei. Von den sechs übrigen Prüfungen hat die, welche unmittelbar nach dem Frühstück vorgenommen worden, gewöhnlich den entschieden grössten Durchschnittswerth. Es giebt jedoch Ausnahmen von dieser Regel; so wurde von 1. April der höchste Durchschnittswerth um 1 Uhr 15 Min. Nachmittags, am 3. April um 3 Uhr 30 Min. Nachmittags, am 5. April um 7 Uhr 45 Min.

Gesammtübersicht der Ergebnisse der Prüfungen der Serie I.

April 1887	8—9	9—10	1—2	2—3	6—7	8—9	10—11	Durchschnittl. Kniestoss i. Mm.	Gesammtzahl der Prüfungen	Gesammtzahl der Versuche	Mittlerer Barometerstand	Mittlerer Thermometerstand
1.	36	88	111	68	49	44	45	63	7	149	30·092	34
2.	28	72	63	52	23	33	58	47	7	169	29·879	44
3. (Sonntag)	40[1]	64[0]	39	74[1]	33	57[2]	18	47	7	178	30·022	52
4.	31	73	20	24	27	21	22	31	7	177	29·808	61
5.	19	51	27	43	—	57	23	37	6	135	30·038	38
6.	23	79	49	54	15	32	29	40	7	173	30·328	40
7.	29	71	66	34	31	52	32	45	7	175	30·477	44
8.	22	70	29	42	44	51	43	43	7	183	30·577	46
9.	35	71	37	36	21	33	14	35	7	178	30·383	50
10. (Sonntag)	13	53	26	44[1]	—	31	17	31	6	144	30·127	67
11.	9	40	23	41	27	25	20	27	7	176	30·076	72
12.	20	57	21	42	29	34	10	30	7	165	30·247	58
13.	25	74	44	46	42	50	20	43	7	167	30·304	51
14.	20	53	42	41	16	36	—	35	6	151	30·216	50
	25	65	43	47	30	40	27	40	95	2320	30·184[3]	50·5[0][4]

Nachmittags und am 11. April um 2 Uhr 30 Min. Nachmittags erlangt. Anscheinend fehlt jeder Grund dafür dass eine Abweichung von der Regel am 1. April eingetreten ist, es sei denn, dass eine ungewöhnliche Aufregung zur Zeit der Prüfung vorhanden war. Dasselbe kann vom 3. April gesagt werden; dies war indessen ein Sonntag, und die Verlegung der Versuchszeiten, sowie der Mangel an schwerer Arbeit des Morgens kann das Ergebniss beeinflusst haben. Am 5. April war die störende Ursache ohne Zweifel das Wetter. Das Barometer, welches des Morgens niedrig war, wie man beim Einblick in die Tabelle des Tages ersehen kann, stieg und die Temperatur fiel im Laufe des Tages. Es wird später in dieser Abhandlung nachgewiesen werden, dass solche Veränderungen mächtige Einflüsse sind und stets dazu beitragen, des Umfang des Kniestosses zu vergrössern. Was den 14. April anbelangt, so kann man nur sagen, dass das Tagebuch berichtet, dass früh des Morgens Samenausfluss stattgefunden hat. Ob diese Thatsache das Sinken der Durchschnittswerthe in früher Tagesstunde erklärt,

[1] Die Prüfung fand eine Stunde später statt.

[2] Die Prüfung fand eine Stunde früher statt.

[3] Der mittlere Barometerstand für April, über einen Zeitraum von 16 Jahren, betrug 29·995.

[4] Der mittlere Thermometerstand für April, über einen Zeitraum von 16 Jahren, betrug 53·03, in Fahrenheit'schen Graden.

lässt sich nicht mit Bestimmtheit entscheiden. Trotz der verzeichneten Ausnahmen ist man berechtigt zu sagen, dass der Kniestoss in der Regel in den früheren Tagesstunden am stärksten ist. Dieser Schluss entspricht denn auch dem Gefühle der Person, welche gewöhnlich in den frühen Tagesstunden am kräftigsten ist, aber zuweilen erst beträchtlich später zu anstrengender Arbeit sich aufgelegt fühlt.

Die letzte Zeile der Tabelle enthält die aus sämmtlichen bei jeder der regelmässigen Prüfungen angestellten Versuchen erlangten Durchschnittswerthe, nach den Stunden geordnet, an welchen die Prüfungen vorgenommen wurden. Diese Mittelwerthe bestätigen, was bereits erwähnt worden, dass nämlich der Kniestoss im Laufe des Tages Schwankungen zeigt, dass er des Morgens, gerade nach der ersten Mahlzeit, am grössten und des Nachts am niedrigsten ist. — Diese Abnahme des Kniestosses kann kaum etwas anderem zugeschrieben werden, als einer Herabstimmung des Körperzustandes als Ganzem durch Ermüdung und, soweit der Verfasser zu urtheilen vermag, steht sie im Verhältniss zu dem Grade der Ermüdung, ausser wenn stärkende Einflüsse ihr entgegenwirken. Obgleich nun der Kniestoss die Neigung hat, abzunehmen, je weiter der Tag vorrückt, so erkennt man gleichwohl an den auf der Tabelle unten gegebenen Durchschnittswerthen, nämlich: 25, 65, 43, 47, 30, 40, 27, dass die Abnahme mit Unterbrechungen geschieht, und dies führt uns zur Betrachtung der Wirkung des Hungers.

Die Wirkung der Mahlzeiten auf den Kniestoss. — Es kann als Regel aufgestellt werden, dass der Kniestoss nach jeder Mahlzeit höher ist als vor derselben. Diese Regel hat jedoch, wie jede andere, ihre Ausnahmen, und diese sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Erklärung der Tabelle (S. 317). — In dieser Tabelle ist der durchschnittliche Kniestoss vor und nach jeder Mahlzeit gegeben, und in den folgenden Rubriken ist der Unterschied zwischen diesen Durchschnittswerthen mit + bezeichnet, wenn der Kniestoss nach der Mahlzeit grösser, und mit —, wenn er es vor derselben war.

Aus dieser Tabelle ersieht man, dass der Kniestoss stets nach dem ersten Frühstück grösser war als vor demselben. Wie indessen bereits erwähnt, ist dieser Vergleich kaum richtig, weil die Person zur Zeit der ersten Prüfung nicht völlig wach war. Ferner stellt sich daraus, dass der Durchschnittswerth an 9 von den 14 beobachteten Tagen nach dem zweiten Frühstück grösser war als vor demselben, dass an zwei anderen Tagen, dem 9. und 14., nur ein Millimeter Unterschied zwischen den Durchschnittswerthen der zwei Prüfungen war und das an drei Tagen, den 1., 2. und 7., der Durchschnittswerth vor dem zweiten Frühstück bedeutend grösser war als nach demselben. Was die Wirkung des Mittagessens betrifft, so bemerkt man, dass

Wirkung von Mahlzeiten auf den Kniestoss.

Datum	Erstes Frühstück.				Zweites Frühstück				Mittagessen			
April 1887	vor	nach	+	—	vor	nach	+	—	vor	nach	+	—
1.	36	88	52	—	111	68	—	43	49	44	—	5
2.	28	72	44	—	63	52	—	11	23	33	10	—
3. (Sonntag)	40	64	24	—	36	74	38	—	33	57	24	—
4.	31	73	42	—	20	24	4	—	37	21	—	6
5.	19	51	32	—	27	43	16	—	—	57	—	—
6.	23	79	56	—	49	54	5	—	15	32	17	—
7.	29	71	42	—	66	34	—	32	31	52	21	—
8.	22	70	48	—	29	42	13	—	44	51	7	—
9.	35	71	36	—	37	36	—	1	21	33	12	—
10. (Sonntag)	13	53	40	—	26	44	18	—	—	31	—	—
11.	9	40	31	—	23	41	18	—	27	25	—	2
12.	20	57	37	—	21	42	21	—	29	34	5	—
13.	25	74	49	—	44	46	2	—	42	50	8	—
14.	20	53	33	—	42	41	—	1	16	36	20	—
	25	65	40	—	43	47	4	—	30	40	10	—

das Mittel an 9 von den 12 Tagen, an denen beide Prüfungen vorgenommen wurden, nach demselben grösser war als vor demselben, dass er an einem der übrigen Tage, dem 11., nur 2 mm grösser war vor, als nach dem Mittagessen, und dass er den 1. und 4. 5 mm beziehlich 6 mm grösser vor als nach dem Mittagessen war.

Wie Jedermann weiss, ist die Folge einer vollen Mahlzeit, dass man sich träge und unaufgelegt zur Arbeit fühlt, während die Wirkung einer mässigen Mahlzeit beruhigend und kräftigend ist. Wenn man bis zum Augenblick der Mahlzeit schwer gearbeitet hat, so wird die Ermüdung anfangs nicht bemerkt, weil die Aufregung noch fortdauert, und erst nach einem Zwischenraum der Ruhe wird man sich der Müdigkeit bewusst. Insofern die Thätigkeit des Geistes, wie später nachgewiesen werden wird, einen grossen Einfluss auf den Umfang des Kniestosses hat, ist es wahrscheinlich, dass der Geisteszustand in hohem Grade für die Ausnahmen verantwortlich ist, welche angeführt worden sind. Eine Zusammenfassung der von allen während der zwei Wochen vor und nach den drei Mahlzeiten angestellten Versuchen erlangten Durchschnittswerthe ist am Fusse der Tabelle zu finden, und man ersieht daraus, dass der Kniestoss im Durchschnitte stets grösser nach jeder der drei Mahlzeiten war, als vor derselben. Man kann daher mit Recht erklären, dass eine Mahlzeit vergrössernd auf den Kniestoss wirke, diese Wirkung aber nicht so stark iss, als dass sie nicht häufig von entgegen wirkenden Einflüssen überwunden würde.

Es mag hier zugleich bemerkt werden, dass zu den Mahlzeiten kein Wein oder Bier, zum ersten Frühstück und Mittagsessen aber Kaffee und zum zweiten Frühstück Thee getrunken wurde.

Wirkung der Muskelermüdung auf den Kniestoss. — Wie nachgewiessen worden, beleuchtet der Kniestoss durch seine Abweichungen während des Tages den allmählichen Verlust an Kraft, den der Körper als Ganzes vom Morgen bis zur Schlafenszeit erleidet, sowie die vorübergehenden theilweisen Erholungen, die er als Ergebniss der Zuführung von Nahrung und der Ruhe bei jeder Mahlzeit erfährt. Das Phaenomen wird noch sichtlicher von der freiwilligen Uebung der Muskeln beeinflusst, welche unmittelbar an dessen Hervorbringung betheiligt sind. Ein Beweis dieser Behauptungen ist durch die in der folgenden Tabelle verzeichneten Versuche geboten.

Zeit der Prüfung.	Auszüge aus dem Tagebuch.	Durchschnittl. Kniestoss.
11 Uhr Vorm.	Nach halbstündigem Schreiben	71 mm
11 Uhr 15 Min. Vorm.	Nach 15 Minuten langem die Treppe Auf- und Absteigen	28 mm
11 Uhr 45 Min. Vorm.	Nach ernstem Sprechen	32 mm
1 Uhr Nachm.	Nach einstündigem Curvenstudium . .	44 mm
2 Uhr 15 Min. Nachm.	Unmittelbar nach dem zweiten Frühstück	46 mm

Hieraus ersieht man, dass die Wirkung des 15 Minuten langen Treppen Auf- und Absteigens die war, den durchschnittlichen Umfang des Kniestosses von 71 mm bis auf 28 mm herab zu mindern. Es lässt sich nicht bezweifeln, dass die Veränderung das Ergebniss der Bewegung war, denn während der nächsten zwei Stunden Ruhe nahm der Durchschnittswerth allmählich wieder zu, und zwar trotz der Thatsache, dass der Hunger und die allgemeine Ermüdung die Neigung gehabt haben müssen, ihn zu vermindern. Zahlreiche Bestätigungen der Abnahme des Kniestosses als Ergebniss der freiwilligen Uebung der Beinmuskeln haben sich im Verlaufe unserer Versuche eingestellt; so haben wir z. B. stets gefunden, dass das Phaenomen durch einen Spaziergang oder selbst durch ein kurzes Herumschlendern merklich verringert worden ist. Diese Beobachtung ist für den praktischen Arzt von Wichtigkeit, weil sie ihn lehrt, keinen kräftigen Kniestoss von einem Patienten zu erwarten, der eine halbe Stunde Wegs bis zu ihm zurückgelegt hat.

In wie weit die in solchen Fällen beobachtete Verminderung der Bewegung aus der Ermüdung der das Knie streckenden Muskeln entsteht und in wie weit sie von der Ermüdung der centralen Nervenmechanismen abhängt, ist ein Problem, dessen Lösung eine Specialuntersuchung erfordern würde, zu welcher es uns aber bisher an Zeit gefehlt hat. Dass

der Umfang des Kniestosses mit der Thätigkeit der Spinalcentren in innigem Zusammenhange steht, kann nicht bezweifelt werden, und dieser Zusammenhang erklärt wahrscheinlich zum grossen Theile die Abweichungen im Laufe des Tages, auf die wir die Aufmerksamkeit gelenkt haben; es ist aber durchaus nicht erwiesen, dass die Ermüdung der Spinalcentren den kleinen Kniestoss erklärt, der nach einem Spaziergange gefunden worden ist.

Wirkung geistiger Ermüdung. — In unseren Versuchen finden wir, dass das Gehirn zwar nur einen mittelbaren, aber nichtsdostoweniger sehr bedeutenden Einfluss auf den Umfang des Kniestosses ausübt, was nachgewiesen werden soll, wenn wir zum Studium der Verstärkungen kommen werden. Wenn überhaupt, wirken die Mechanismen des Gehirns nur selten einzeln; es ist folglich höchst schwierig, die verstärkenden Einflüsse bis zu ihrer eigentlichen Quelle zu verfolgen. Scheinbar jedoch sind es jene Centren, welche der Sitz des Willens und der Affecte sind, eher als jene, mittels deren wir solche Formen geistiger Arbeit verrichten, wie Addiren, Memoriren und Pläne machen, welche beim Verstärken des Kniestosses hauptsächlich betheiligt sind. Bei unseren Versuchen haben wir nicht gefunden, dass kurze Perioden geistiger Arbeit irgend eine Wirkung auf die Grösse des Kniestosses ausgeübt haben, und wenn die Arbeit über lange Zwischenräume sich erstreckt hat, so haben die Wirkungen des Hungers und der allgemeinen Ermüdung die Resultate verhüllt.

Ungewöhnliche Geistesermüdung. — Zweimal im Verlaufe der Versuche hatte die Person allzu lange Zeit mit dem Messen und Tabellarisiren von Resultaten verbracht, und die Arbeit nebst dem deprimirenden Wetter, welches zur Zeit herrschte, verursachte ungewöhnliche Geistesermüdung. Die Ermüdung zeigte sich in einem geringen Schwindel und einer Reizbarkeit, die sie bei unerwartetem Geräusch auffahren liess. Während der zu dieser Zeit angestellten Versuche wurde die eigenthümliche Empfindung in dem Muskel, welche von dem durch den Schlag hervorgebrachten Stoss oder von der Contraction des Muskels herrührt, ein Gefühl, das gewöhnlich unbeachtet blieb, so empfindlich und unangenehm, dass es gegen den Schluss der Prüfung für die Person schwer war, ruhig zu liegen. Sie hatte den lebhaften Wunsch, die Muskeln des Gliedes und des Fusses der Seite auf welcher der Versuch angestellt wurde, zu contrahiren, ein Gefühl, welches dem zu vergleichen ist, welches man in den Muskeln des Kinnbackens hat, nachdem man heftig in ein Stück Gummi gebissen. Je mehr sie daran dachte, desto stärker wurde die Versuchung sich zu bewegen, bis es der Person schien, als ob sie mittels eines positiven Willensactes sich ruhig verhalte. Dieser nervöse Wunsch, viele Muskeln des Gliedes zu contrahiren, liess eher auf eine centrale, als

periphere Erregbarkeitssteigerung schliessen und wurde zunächst dem Rückenmark zugeschrieben. Man kam auf den Gedanken, das Gehirn sei müde und daher ausser Stande, den inhibirenden Einfluss auszuüben, welchen es, wie viele glauben, auf die Rückenmarkcentren haben soll und dass diese Centren, theilweise dieses Einflusses ledig, ungewöhnlich thätig waren. Die Person fand jedoch, dass sie durch Ablenkung ihrer Gedanken von den Versuchen weg und auf andere Gegenstände hin, indem sie sich zwang, ihre ganze Aufmerksamkeit auf das Entwerfen eines Apparats zu richten, nach kurzer Zeit die Reizempfindung vergessen konnte. Wenn die Gedanken so auf andere Gegenstände gerichtet waren, schien das Rückenmark freier von der Controle des Gehirns zu sein, als zur Zeit, wo der Geist sich gänzlich mit dem Kniestosse beschäftigte; und doch hörten die unangenehmen Empfindungen und die übertriebenen Bewegungen auf, wodurch sich erwies, dass die Erregbarkeit mehr im Gehirn als im Rückenmark lag. Man fand während dieser Versuchsreihe nie, dass es möglich sei, die Grösse des Kniestosses durch einen Willensact zu inhibiren, die Person bemerkte aber immer wieder, dass, wenn der Kniestoss von ungewöhnlicher cerebraler Thätigkeit, besonders von einem Affecte, verstärkt wurde, der Umfang der Bewegung durch Richtung der Gedanken auf einen gleichgültigen Gegenstand, wie z. B. durch ruhige Concentrirung der Aufmerksamkeit auf die Wärme der Hand, vermindert werden konnte.

So weit der Verfasser nach seinen Versuchen zu urtheilen vermag, ist Ermüdung, gleichviel ob des Körpers oder des Geistes, von einer Verminderung des Kniestosses begleitet, und die oben verzeichneten Ausnahmen, bei denen man fand, dass übermässige Ermüdung des Geistes die Grösse des Phaenomens vermehrte, rührten von der Thatsache her, dass der Geist in einem reizbaren Zustande sich befand und so den Kniestoss verstärkte. Die Sache wird noch klarer werden, nachdem wir die Mittel überschaut haben, durch welche der Kniestoss verstärkt werden kann.

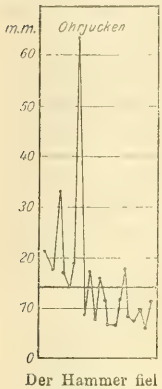
Während das Obige geschrieben wurde, ist die Aufmerksamkeit des Verfassers auf einen kurzen Artikel von Maxmilian Sternberg im *Centralblatt für Physiologie*, Mai 1887, hingelenkt worden, in welchem der betr. Verfasser seine Versuche mittheilte und zum Schluss sich dahin ausspricht, dass eine Verstärkung des Sehnenreflexes ein Zeichen allgemeiner Ermüdung sei, gleichviel ob von lange fortgesetzter körperlicher oder geistiger Anstrengung herrührend, und dass diese Thatsache möglicherweise aus dem Aufhören einer cerebralen Hemmung sich erkläre. Dieses Ergebniss ist das Gegentheil von dem, zu welchem der Verfasser dieser Abhandlung gelangt ist. Der scheinbare Widerspruch indessen dürfte durch die Thatsache sich erklären lassen, dass Sternberg's Experimente mit Fällen äusserster Ermüdung sich befassten, während die des Verfassers auf eine Erforschung eines Grades der Ermüdung sich beschränkt haben, wie sie im Laufe eines Tages gewöhnlich vorkommt. Die ganze Frage nach der Wirkung verschiedener Arten und verschiedener Grade von Ermüdung auf den Kniestoss verdient weitere Untersuchung.

Verstärkung des Kniestosses. — Wie bereits erwähnt, riefen hintereinander folgende Schläge von derselben Kraft, in gleichen Zwischenräumen und auf genau denselben Theil des Ligamentum patellae beigebracht, Kniestösse von verschiedener Stärke hervor. Da der Anreiz in jedem Falle derselbe war, so müssen die Ursachen der Abweichungen im Individuum gesucht werden. Es fällt einem dabei sofort ein, es sei möglich, dass die Reizbarkeit des Muskels eine fortwährende Veränderung erleidet. Wenn man jedoch bedenkt, wie gleichmässig ein vom Einfluss des Central-Nervensystems durch Trennung seines Nerven losgetrennter Muskel gleichen Reizen entspricht, so muss man zugeben, dass die Abweichungen im Kniestoss die Folge von Veränderungen sein müssen, die ausserhalb des Muskels und höchst wahrscheinlich in den centralen Mechanismen, mit denen er zusammenhängt, ihren Ursprung haben. Wenn der Kniestoss, wie viele glauben, ein Reflexact ist, so mögen dessen Abweichungen wohl aus Veränderungen in der Thätigkeit der Reflexcentren des Rückenmarks entstehen; ist er ein peripherer Act, so dürften sie von Aenderungen in der Muskelspannung abhängig sein, welche die Folge von Veränderungen der Thätigkeit der Rückenmarkscentren ist, die, wie man annimmt, seinen Tonus bestimmen. Kurz, was immer das Wesen des Vorganges sein mag, der den Kniestoss zur Folge hat, so muss man doch in den Rückenmarkscentren die Quelle der erwähnten Abweichungen suchen. Welches nun sind die Einflüsse, welche die Thätigkeit dieser Centren bestimmen? Es ist am besten, nicht zu versuchen diese Frage zu beantworten, und an den Gegenstand von einer anderen Seite hinanzutreten.

Wie bereits erwähnt, war es nicht der Zweck unserer Forschung, die Ursachen der Verstärkung des Kniestosses zu ermitteln; wir fanden jedoch bald, dass wir den Gegenstand überhaupt nicht zu erforschen vermochten, ohne diese Frage in Betracht zu ziehen. Es heisst nicht zu viel sagen, dass jeder Kniestoss, den man erzielt, die Resultante einer grossen Zahl verstärkender Einflüsse ist, welche zum grössten Theil unbestimmbar sind, die sich aber zuweilen, wenn auch einzeln, offenbaren, wenn nämlich irgend eine Verstärkungsquelle so thätig ist, dass sie die Aufmerksamkeit auf sich zieht.

Durch Reizung der Haut verursachte Verstärkung. — Eine sensorische Reizung z. B., sowie ein Prickeln oder Jucken der Haut, verursacht eine merkliche Verstärkung. So war bei der Prüfung am 5. April, um 6 Uhr 30 Min. Nachmittags, der durchschnittliche Kniestoss 14 mm und die Verstärkung, welche das Ergebniss eines Schlages war, der zufällig im Augenblick, wo das Ohr juckte, versetzt wurde, betrug 63 mm (Fig. 6). Ebenso war bei der Prüfung am 12. April um 12 Uhr Mittags der

durchschnittliche Kniestoss 13 mm, und Jucken der Haut führte eine Reihe von Verstärkungen herbei, nämlich: 37, 14, 25, 25 (Fig. 7). Was die Grösse der Verstärkungen anlangt, so muss man sich erinnern, dass, selbst wenn ein Reizmittel ununterbrochen angewandt wird, wir die Empfindung nicht als constante erkennen, sondern als von wechselnder Intensität, und dass Mitchell und Lewis fanden, dass die Grösse der Verstärkung von dem Augenblick abhänge, wo der Schlag beigebracht worden. Fällt der Schlag in dem Zeitpunkte, wo der verstärkende Einfluss am mächtigsten ist, so ist die darauf folgende Bewegung ausgesprochener, als wenn der Kniestoss ein wenig früher oder später hervorgerufen wird. So juckte zwar im zweiten angeführten Beispiel die Haut die ganze Zeit; doch war die Heftigkeit der Empfindung viel grösser in einem Augenblicke als im anderen, und die verstärkten Kniestösse zeigen einen ähnlichen Unterschied. Die obigen Beispiele beleuchten eine Thatsache, welche viele Mal im Verlauf unserer Versuche dargethan wurde. Es wurde wiederholt beobachtet, dass nicht nur eine solche positive Quelle der Reizung für die Haut, sondern auch alles, was Unbehagen verursachte, wie z. B. eine Falte in der Kleidung oder eine unbequeme Lage hinreichend war, die Grösse des Kniestosses zu vermehren. Diese Beobachtungen bestätigen die Resultate Mitchell's und Lewis', welche fanden, dass schmerzhafte Eindrücke auf die Haut, wie Hitze, Kälte, die elektrische Drahtbürste u. s. w. im Stande waren, den Kniestoss zu verstärken.



Der Hammer fiel durch 36° statt 40°
Fig. 6.
5. April, 6·20 N.

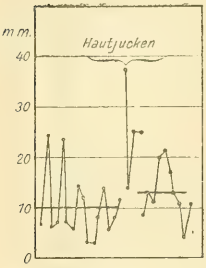


Fig. 7.
13. April 12·00 Mittags.

Durch freiwillige Handlungen hervorgebrachte Verstärkungen. Mitchell und Lewis fanden ferner, dass jede auch noch so leise freiwillige Bewegung dazu beitrug, den Kniestoss zu verstärken, und in unseren Versuchen sehen wir diese Thatsachen wiederholt veranschaulicht. So betrug der durchschnittliche Kniestoss bei der Prüfung am 11. April 6 Uhr 15 Min. Nachmittags 27 mm, und die Bewegung, welche auf einen Schlag erfolgte, der zufällig in dem Augenblicke fiel, wo das Individuum Speise zu sich nahm, betrug 50 mm (Fig. 8). Desgleichen betrug der Kniestoss bei der Prüfung am 8. April um 6 Uhr 15 Min. Nachmittags 44 mm, und die

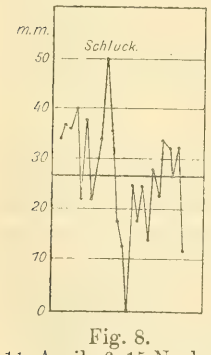


Fig. 8.
11. April, 6·15 Nachm.

Kniestösse, welche unmittelbar nach den regelmässigen Versuchen hervorgerufen und durch Sprechen verstärkt wurden, erreichten 71, 75, 86, 82 und 74 mm (Figur 9). Wie bereits erwähnt, muss der Schlag gerade im rechten Augenblicke nach dem Verstärkungsacte beigebracht werden, wenn man die volle Wirkung der Verstärkung erlangen will. Wenn dies geschah, so vermehrten solche thätigen verstärkenden Acte, wie das Zusammenschliesen der Hände oder der Zähne, die Bewegung ganz bedeutend (s. Figur 6).

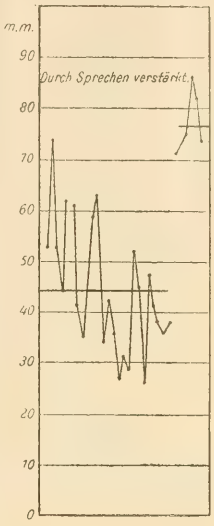


Fig. 9.
8. April, 6·15 Nachm.

Durch Erregung der Aufmerksamkeit hervorgebrachte Verstärkungen. Alle diese verstärkenden Einflüsse waren für uns hauptsächlich deshalb von Interesse, weil wir wünschten, sie zu vermeiden und Schläge von derselben Stärke Kniestösse von demselben Umfang hervorrufen zu sehen. Wenn die Person vollkommen ruhig lag, mit geschlossenen Augen und in einer Lage, welche sie durchaus bequem fand, so blieben die Kniestösse von wechselnder Grösse. Eine Ursache einiger dieser Abweichungen wurde indessen bald entdeckt. Während der Prüfung am 2. April um 6 Uhr 15 Min. Nachmittags begann ein Kind im nächsten Zimmer zu schreien, wurde aber sofort beruhigt; nach einigen Augenblicken fing das Kind wieder an zu schreien und wurde abermals rasch beruhigt. Der durchschnittliche Kniestoss bei dieser Prüfung betrug 33 mm, und die Bewegung, welche eintrat, während das Kind schrie, betrug 47 mm und 46 mm (Figur 10).

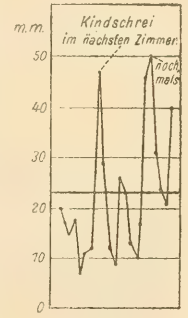


Fig. 10.
2. April 6·15 Nachm.

Das Object der Versuche interessirte sich in keiner Weise für das Kind und war sich nicht bewusst, die geringste Bewegung zu machen, während es schrie. Drei Erklärungen der Verstärkung drängten sich auf: eine war, dass die Person, ohne es zu wissen, eine freiwillige Bewegung gemacht; eine andere, dass der Schall wie andere Formen sensorischer Reizung gewirkt habe, von denen man gefunden, dass sie verstärken, und schliesslich war es möglich, dass die cerebralen Vorgänge, welche das Hinlenken der Aufmerksamkeit auf neue Gegenstände begleiten, einigermaassen die Wirkung der entfernten Centren im Marke, welche den Umfang des Kniestosses bestimmen, beeinflusst haben mochten.

Sobald die Aufmerksamkeit der Person einmal darauf hingelenkt

worden war, ihre Hirnthätigkeit zu beobachten, begann sie zu erkennen, dass die Lebhaftigkeit ihrer Gedanken nicht ohne Einfluss auf die Grösse des Kniestosses war. — Man bemerkte bald, dass ein Geräusch, welches nicht laut war und nur ein sehr schwaches sensorisches Reizmittel sein konnte, die Grösse des Phaenomens vermehrte, wenn es derart war, dass es die Aufmerksamkeit auf sich zog, während ein weit lauteres, wenn es kein Interesse erregte, keinen merklichen Einfluss darauf hatte. So hörte man während der Prüfung am 12. April um 8 Uhr Nachmittags, als der durchschnittliche Kniestoss 29^{mm} betrug, jemand die Treppe heraufkommen und die Kniestösse, welche zur Zeit zufällig aufgezeichnet wurden, betrugen 71^{mm} und 60^{mm} (Fig. 11). Zugleich hatte das Rasseln vorüberfahrender Fuhrwerke, ein gewohnter Laut und von keinem Interesse, keine merkliche Wirkung. Man fand bald, dass, wenn man mit der Versuchsperson sprach, wenn Jemand an die Thür klopfte oder die Aufmerksamkeit der Person im Augenblick, wo der Schlag versetzt wurde, in irgend anderer Weise erregt wurde, der Kniestoss sichtlich vergrössert ward.

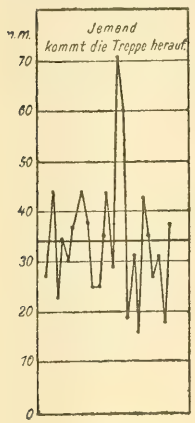


Fig. 11.
12. April, 8·00 Abends.

Wirkung der cerebralen Unthätigkeit und des Schlafes. — Wenn das plötzliche Erwachen der Aufmerksamkeit fähig war, den Kniestoss zu vergrössern, so durfte es scheinen, als ob eine Beruhigung der cerebralen Thätigkeit die entgegengesetzte Wirkung hervorbringen würde, und dies schien denn auch wirklich der Fall zu sein. Nicht selten war der Durchschnitt der Versuche am Beginn einer Prüfung, wenn die Gedanken der Person, die vielleicht eben aufgehört hatte zu arbeiten, thätig waren, beträchtlich höher als das Mittel der Versuche, welche gegen den Schluss der Prüfung angestellt worden, wo Ruhe oder selbst ein dem Schlafe sehr ähnlicher Zustand sie beschlichen hatte. Es verdient vielleicht bemerkt zu werden, dass die Person stets die Fähigkeit gehabt hat, schnell einzuschlafen und dass das von den regelmässigen Hammerschlägen verursachte Schwirren aufhörte, ihre Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen, nachdem einige hundert Versuche an ihr angestellt worden waren. Die Wirkung der Beruhigung der cerebralen Mechanismen wurde bei der Prüfung am 2. April um 8 Uhr 15 Min. Nachmittags beleuchtet, wo der Durchschnitt der ersten

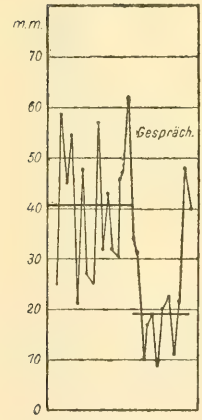


Fig. 12.
2. April 8·15 Abends.

fünfzehn Versuche 41 mm und der nächsten zehn 19 mm betrug. Die beiden nächsten Schläge wurden ausgeführt, gerade nachdem jemand mit der Person gesprochen hatte, und die Kniestösse betrugen 48 mm und 44 mm. (Siehe Fig. 12; siehe auch Figg. 11 und 9.)

Wirkung der verschiedenen Formen cerebraler Thätigkeit. — Die Versuche, die wir mit Rücksicht auf die Wirkung der verschiedenen Formen cerebraler Thätigkeit gemacht haben, waren viel zu wenig zahlreich, um eine Grundlage für positive Schlüsse zu bieten; es schien uns jedoch, dass die Emotionen den grössten Einfluss auf den Vorgang haben. So z. B. beim Kopfrechnen schien der einfache Act, zwei Zahlen zu multipliziren, selbst wenn sie schwierig waren, den Kniestoss nicht besonders zu beeinflussen, ausser wenn eine Anstrengung gemacht wurde, das Resultat so schnell als möglich zu erlangen und dieser Versuch die Person aufregte. Die Frage verdient besonders untersucht zu werden. Eine grosse Schwierigkeit für eine solchen Untersuchung entsteht aus der Thatsache, dass der Experimentator den Schlag nicht rechtzeitig versetzen kann, um den Kniestoss im Augenblicke zu erzielen, wo die Gedanken der Person am thätigsten sind. Es ist möglich, dass solche Versuche vortheilhaft mit plethysmographischen verbunden werden könnten.

Wirkung der Multiplication. — Bei der Prüfung um 1 Uhr 15 Min. Nachmittags am 4 April versuchten wir die Wirkung der Multiplication. Der durchschnittliche Kniestoss zur Zeit betrug 20 mm, während der Durchschnitt während des Zeitraumes, wo die Person rasch multiplicirte, 32 mm betrug (Fig. 13).

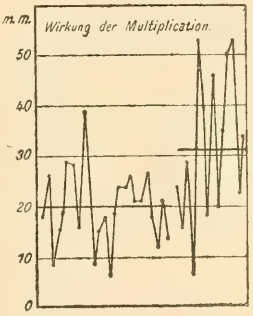


Fig. 13.
4. April 1·15 Nachm.

Durch aufregende Geistesthätigkeit verursachte Verstärkung. — Ein gutes Beispiel von der Wirkung aufregender Geistesarbeit ist in den Resultaten der Prüfung um 1 Uhr 30 Min. Nachmittags am 5. April zu finden, als sich die Person Browning's aufregendes Gedicht: „How they brought the good News from Ghent to Aix" im Geiste vorsagte. Der durchschnittliche Kniestoss während der vorhergehenden Ruhe betrug 27 mm, und der Durchschnitt, welcher aufgenommen wurde, während das Gedicht in's Gedächtniss zurückgerufen wurde, war 64 mm (Fig. 14). In einem solchen Falle wie diesem kann man nicht umhin zu glauben, die Kehlkopfmuskeln mögen dabei etwas in Thätigkeit gesetzt und der Athmungsrhythmus verändert worden sein. Die Person war sich nicht bewusst, einen Versuch zur Lauthervorbringung gemacht zu haben; es schien ihr aber, dass ihr Athmen länger und tiefer gewesen sei.

Einfluss der Respiration auf den Kniestoss. — Es ist interessant in diesem Zusammenhange den Einfluss der Respiration auf den Kniestoss zu betrachten. Einige wenige Versuche wurden mit Bezug auf diesen Punkt angestellt, wobei sowohl die Respiration als auch der Kniestoss auf derselben beweglichen Fläche verzeichnet wurden. Es wurde jedoch bei diesen Versuchen nicht gefunden, dass die Respiration irgend welchen Einfluss auf das Phaenomen hatte. Es schien keinerlei Unterschied zu machen, ob der Schlag am Anfang oder am Ende der Exspiration fiel. In der That, soweit diese Versuche Aufschluss geben, verstärken die regelmässigen Respirationsacte den Kniestoss nicht.

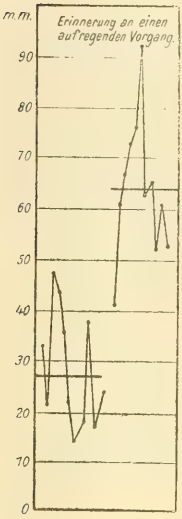


Fig. 14.
5. April, 1·30 Nachm.

Mittels Asphyxie hervorgebrachte Verstärkung. (?) — Die folgenden Versuche zeigen, dass der Kniestoss durch geringe Veränderungen im Athmungsrhythmus keine Veränderung erleidet, dass er aber durch heftige Inspirationsbewegungen oder die Ursachen, welche sie hervorbringen, vergrössert wird. Bei der am 8. April um 8 Uhr 30 Min. Nachmittags vorgenommenen Prüfung betrug der durchschnittliche Kniestoss 51 mm. Die folgenden Versuche wurden 15 Minuten später und in genau derselben Weise angestellt, ausser dass die Schläge in Zwischenräumen von 10 anstatt 15 Secunden — das gewöhnliche Intervall — beigebracht wurden. Die Figuren zeigen, wie in allen übrigen Fällen, den Umfang der durch den Kniestoss entstehenden Fussbewegungen in Millimetern.

Während der Ruhe — 35, 29, 55 —; es wird tief Athem geholt und der Athem wird 70 Secunden lang angehalten — 41, 44, 45, 49, 55, 72, 100 — es wird wieder geathmet und anfangs sehr tief — 72, 57, 61, 42, 41, 52, 44, 32 — nochmals wird tief geathmet und der Athem 70 Secunden lang angehalten — 56, 58, 67, 70, 78, 79, 89 — es wird abermals geathmet und zwar tief — 80, 59, 64, 56, 41, 30.

Das erste Mal, wo der Athem angehalten wurde, verstrichen mehr als 40 Secunden, ehe eine wesentliche Vergrösserung im Umfange des Kniestosses beobachtet wurde; während der nächsten 30 Secunden jedoch, als die Anstrengung, sich des Athmens zu enthalten, beschwerlich geworden, war der Zuwachs im Kniestoss sehr bemerklich. Sobald die Person wieder zu athmen begann, fing die Reizung an, sich zu verlieren und die Bewegung sich zu verringern, und in etwa 40 Secunden hatte sie wieder ihren normalen Durchschnitt erlangt.

Als der Athem zum zweiten Mal angehalten wurde, stellte sich die Vergrösserung des Kniestosses viel schneller ein, und wie im ersten Falle wuchs der Umfang der Bewegung mit der Zunahme des Beklemmunggefühls. Wie im früheren Falle dauerte es 40 Secunden, nachdem das Athmen wieder begonnen hatte, ehe der Kniestoss seine normale Höhe wieder erlangt hatte.

In wie weit die bei diesen Versuchen beobachtete Vergrösserung in dem Phaenomen vom Schmerz herrührte und in wie weit von dem Einfluss der zeitweiligen Asphyxie auf das Central-Nervensystem ist schwer zu bestimmen.

Aehnliche Resultate wurden erlangt, wenn so tief als möglich ausgeathmet und in dieser Stellung verharrt wurde. Während der Ruhe — 52, 41, 47, 46, 41 — Athem ausgestossen und aussen gehalten — 65, 80, 85, 99 — wieder geathmet — 72, 80, 60, 69, 63, 67, 44. Dies war ein weit schmerzhafterer Versuch, und die Wirkung des Mangels an Luft machte sich fast momentan im Zuwachs des Kniestosses bemerkbar. Am Ende von 40 Secunden war der Schmerz so heftig, dass er Thränen in die Augen brachte, und selbst nachdem wieder geathmet worden, dauerte das nach dem unteren Theil der Brust sich ziehende schmerzhafte Gefühl noch einige Zeit. Es verdient bemerkt zu werden, dass in diesem Falle der Kniestoss langsamer zum normalen Umfang zurückkehrte, als in den früheren Versuchen.

Ueber diese Versuche wird hier berichtet, nicht etwa als ob irgend ein bestimmter Schluss aus ihnen allein gezogen werden könnte, sondern weil sie bedeutungsvoll sind und weil sie noch eine der vielen Verstärkungsquellen des Kniestosses darstellen. Ob sie mit Verstärkungen zusammen gruppirt werden sollten, welche aus schmerzhaften sensorischen Eindrücken, freiwilligen Handlungen, Gefühlsthätigkeit oder functioneller Störung der Spinalcentren entstehen, ist schwer zu bestimmen, da alle diese Ursachen an der Hervorbringung des Resultates theilzunehmen schienen.

Durch Musik verursachte Verstärkung des Kniestosses. — Vielleicht war die interessanteste von sämmtlichen cerebraler Einwirkung zuzuschreibenden Verstärkungsformen, die wir beobachtet haben, die von Musik erzeugte. Nicht alle Arten von Musik indessen haben diese Macht, und so weit wir zu urtheilen im Stande waren, ist sie auf solche beschränkt, welche fähig sind ein leidenschaftliches Interesse zu erregen. So z. B. kann der Verfasser berichten, dass wenn „Beautiful Spring“ von einer Drehorgel gespielt wird, dies wenig oder gar keinen Einfluss auf seinen Kniestoss hat, während eine gute Militärkapelle, die einen aufregenden Marsch spielt, eine sehr entschiedene Verstärkung zu verursachen vermag.

Eines Tages ging ein Aufzug am Ende der Strasse in kurzer Entfernung während der Experimente vorüber und die Wirkung der Musik war sehr augenfällig. Die 25 Versuche der Prüfung, welche eben vorgenommen worden war, hatten gezeigt, dass der durchschnittliche Kniestoss 32 mm betrug. Beim Herannahen des Aufzuges nahm die Person wieder ihren Platz auf dem Apparat ein; der erste Schlag wurde aber erst geführt, als die Kapelle das Ende der Strasse passirte — 60, 71, 74, 70, 60. 55 — eine zweite Kapelle folgte sogleich nach, welche „My Maryland" zu spielen begann, gerade ehe sie die Strasse erreichte — 62, 76, 76, 74, 71, 66, 59, 64, 59 — dieser folgte ein Trommlerchor — 48, 55, 51, 55, 53, 49, 52 — dann verhallte die Musik in der Ferne und nur die gewöhnlichen Strassenlaute blieben zurück — 40, 45, 37, 30, 39, 53, 37, 29. Die Zu- und Abnahme des Kniestosses, als die Musik sich näherte und verhallte, und der Unterschied in der Wirkung der Musikbanden, des Trommlerchors und der Strassenlaute ist sehr interessant. Die Thatsache, dass der Charakter der Musik deren Fähigkeit den Kniestoss zu verstärken bestimmte, wurde bei einem am 6. April angestellten Versuche noch deutlicher beleuchtet. Der durchschnittliche Kniestoss um 8. Nm. betrug 32 mm und der um 11. Nm. 29 mm. Man kann annehmen, dass um 10·30 Nm., zur Zeit des Versuches, der durchschnittliche Kniestoss während der Ruhe nicht fern von 30 mm gewesen sein würde. Die bei diesem Versuche angewandte Musik war ein gutes, von einem tüchtigen Pianisten gespieltes Pianoforte in einem anstossenden Zimmer. Während Beethoven's „Trauermarsch" gespielt wurde, betrugen die Kniestösse: 82, 104, 96, 105, 104, 99, 108, 95, 106, 108, 117, 90, 113, 119, 97, 100, 124, 108, 112, und der Durchschnitt war 105. Darauf folgte ein Zwischenraum der Ruhe, während dessen die Kniestösse abnahmen — 83, 90, 90, 66, 82, 59, 75, 50; Durchschnitt 74. Dann wurde Chopin's „Regentropfen-Praeludium" gespielt, und zu unserer Freude fanden wir, als wir dazu kamen, die Resultate zu betrachten, dass der Umfang des Kniestosses je nach dem Charakter der Musik auf die merkwürdigste Weise sich verändert hatte. So betrug er während der leisen Musik, wenn man glaubt Regentropfen fallen zu hören, 52, 63, 47, 50, 55; wie die Musik sich veränderte und die Bass-Stellen sich fühlbar zu machen begannen, betrug er 66, 73, 58, 78, 70, 86, 77, 87; — wie die Musik nachliess und leiser wurde, betrugen die Messungen 66, 43, 59, 62, 71, 68, 54; wie die aufregenderen Stellen folgten, wurde 79, 86, 86 gemessen, und endlich als die variirten, aber leiseren Stellen wieder kamen, betrug der Kniestoss 58, 57, 79, 67, 47. Wie erwähnt, betrug der Durchschnitt des Kniestosses während der Ruhe, wie er in 25 Versuchen gefunden wurde, die kurz, nachdem die Person sich wieder beruhigt hatte, angestellt wurden, 29 mm. (Siehe Fig. 15.)

Vielleicht ist der Leser geneigt, daran zu zweifeln, dass Musik eine solche Wirkung gehabt haben könne, und dürfte sich fragen — wie auch der Verfasser es that —, ob es nicht möglich sei, dass die Person, an welcher die Experimente angestellt wurden, die Resultate unbewusst begünstigt oder am Ende gar selbst fast hervorgebracht habe. Es scheint indessen kaum glaublich, dass dies der Fall gewesen sei, da die Person während der Prüfungen nie über die Ausdehnung, bis zu welcher ihr Fuss sich bewegte, sicher war und nur wusste, dass die Bewegung gering oder beträchtlich sei; auch hatte sie keine Ahnung von der Genauigkeit, mit welcher die Kniestösse der Musik gefolgt waren, bevor sie die Curven sah, nachdem die Versuche vorüber waren. Wäre dies die erste Reihe von Versuchen gewesen, die an der Person gestellt wurden, so ist es wahrscheinlich, dass sie weit mehr Interesse an den Hammerschlägen genommen haben würde, als an der Musik; da dies aber der sechste Tag der Reihe und ihr Knie mehr als tausendmal während der Woche geschlagen worden war, vermochte sie die Hammerschläge zu vergessen und nur an die Musik zu denken.

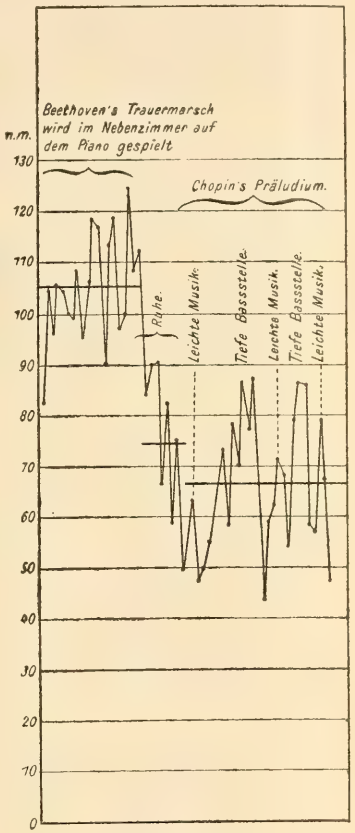


Fig. 15.
6. April, 10·30 Nachm.

Durch aufregende Träume hervorgebrachte Verstärkungen. — Die Thatsache, dass der Umfang des Kniestosses in grösserem Maasse von der Thätigkeit der cerebralen Centren abhängt, welche der Sitz der Gefühlsregungen sind, hat im Verlaufe unserer Versuche eine weitere und seltsame Beleuchtung erhalten. Wie bereits erwähnt, schlummerte die Person, wenn sie müde war, häufig gegen das Ende einer Prüfung ein oder verlor wenigstens das Bewusstsein so weit, dass sie aufhörte, für ihre Gedanken verantwortlich zu sein. So geschah es häufig, dass sie sich einbildete, sie stosse einen Fussball oder strenge sich an, ein schweres Gewicht zu heben, oder stelle sich in Positur, um eine Pistole abzuschiessen oder verrichte irgend eine andere kräftige Handlung, und wenn, wie es nicht selten der Fall war, der Schlag auf das Ligamentum patellae in solchem Augenblicke versetzt wurde, wurde sie durch die ungewöhnliche

Heftigkeit des darauf folgenden Kniestosses wieder zu sich gerufen. Dies war keine vereinzelte Erfahrung, sondern es geschah vielmal, so dass die Person keinen Zweifel an der Richtigkeit der Beobachtung hatte. Selbst während des Schlafes also macht sich cerebrale Thätigkeit im ganzen Körper fühlbar. Diese Thatsache bedurfte kaum eines Beweises, denn Jedermann hat die Laufbewegungen schlafender Hunde u. s. w. bemerkt. Sie ist jedoch in diesem Zusammenhange interessant, weil ein so erlangter Beweis viel zuverlässiger ist, als irgend einer, der während der wachen Stunden gewonnen werden könnte, wo man versucht wäre zu glauben, die Person verhelfe unabsichtlich dazu, die Resultate herbeizuführen.

Einfluss der Witterung auf den Kniestoss. — Im Verlaufe der Versuche bemerkte die Person, dass ihr Allgemeinbefinden und ihr Kniestoss minder kräftig wurden, und schrieb die Veränderung der Thatsache zu, dass das Wetter wärmer wurde. Die ersten warmen Frühlingstage bringen den meisten Menschen ein Gefühl der Erschlaffung, und die Person wusste, dass sie keine Ausnahme von der Regel bilde. Empfindungen sind nun freilich unverlässliche Data, es sei denn, dass sie von solideren Beweisen bestätigt werden; es schien daher der Mühe werth, die Abweichungen des Kniestosses mit denen der Temperatur während der zwei Wochen zu vergleichen. Die U. S. A. Wetterbeobachtungen wurden demgemäss in Betracht gezogen, und man fand, dass der Kniestoss im Allgemeinen sich verminderte, je nachdem die Temperatur zunahm. Die Uebereinstimmung war indessen nicht so genau, dass es nicht augenscheinlich gewesen wäre, dass andere Einflüsse dabei mitwirkten, und der Verfasser kam auf den Gedanken, die barometrischen Veränderungen der Atmosphaere dürften in diesem Zusammenhange von Wichtigkeit sein. Wie sehr die Grösse des Kniestosses durch thermometrische und barometrische Veränderungen beeinflusst ist, kann am besten durch Betrachtung von Fig. 16 verstanden werden.

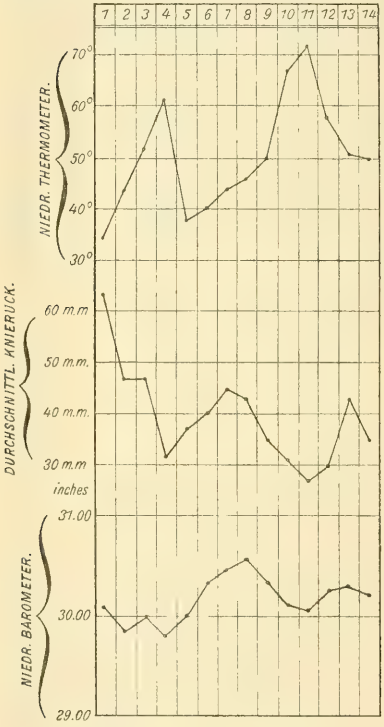


Fig. 16. (April 1887.)

Erklärung. — Auf Fig. 16 oben befinden sich die Daten, an welchen die Versuche angestellt wurden, und auf der linken Seite sieht man die Fahrenheit'sche Thermometerscala von 30°—70°, eine Scala von Millimetern, um die Grösse des Kniestosses anzudeuten, und die Barometerscala von 29—31 Zoll. Die Curve gegenüber der Thermometerscala zeigt die Abweichungen der Temperatur für den entsprechenden Tag. Die Curve gegenüber der Millimeterscala zeigt die Abweichungen des Kniestosses, wobei jeder Punkt den Durchschnitt sämmtlicher am entsprechenden Tage angestellter Versuche bezeichnet. In ähnlicher Weise kennzeichnet die Curve gegenüber der Barometerscala die Abweichungen des Barometers, wobei jeder Punkt den mittleren Barometerstand für den entsprechenden Tag andeutet.

Studium des Diagramms (s. Fig. 16). — Die Uebereinstimmung zwischen der Temperatur und den Kniestosscurven ist nicht sehr genau; doch sieht man, dass am 4. und 11., wo die Temperatur eine hohe war, der Kniestoss niedrig war, während er am 1., 7. und 14., wo das Thermometer weit niedriger stand, bedeutend höher war. Im Allgemeinen also wird der Kniestoss, je nachdem die Temperatur steigt, geringer und je nachdem sie fällt, grösser.

Wenn man nun die Kniestoss- und Barometercurven vergleicht, so findet man die Uebereinstimmung viel genauer. Das Barometer fiel, im Ganzen betrachtet, vom 1. bis zum 4., ebenso der Kniestoss; das Barometer stieg vom 4. bis zum 8., ebenso der Kniestoss; das Barometer fiel vom 8. bis zum 11., das that auch der Kniestoss; das Barometer stieg vom 11. bis zum 13., so auch der Kniestoss, und schliesslich fiel das Barometer vom 13. bis zum 14., ebenso der Kniestoss. Im Allgemeinen also darf man sagen, dass je nachdem das Barometer steigt und fällt, der Kniestoss steige und falle.

Eine sorgfältigere Prüfung indessen zeigt, dass wenn gleich diese allgemeine Uebereinstimmung vorhanden war, die beiden nicht in der Grösse ihrer Abweichungen übereinstimmten, noch in genau derselben Weise von Tag zu Tag abwichen. So fiel der Kniestoss sichtlich vom 1. bis zum 4. und das Barometer nur ein wenig; überdies stieg das Barometer vom 2. bis zum 3., während der Kniestoss stationär blieb. Ebenso sieht man, dass der Kniestoss vom 7. auf den 8. abnahm, obgleich das Barometer immer noch stieg. Diese Unterschiede kann man nur verstehen, wenn man gleichzeitig die drei Curven vergleicht und sich erinnert, dass eine Temperatursteigerung oder ein Fallen des Barometers dazu dient, den Kniestoss herabzumindern, während ein Sinken der Temperatur oder ein Steigen des Barometers dazu dient, die Kniestosscurve zu heben.

Vom 1. auf den 2. stieg die Temperatur und fiel das Barometer, und beide Einflüsse strebten, die Bewegung zu vermindern; vom 2. auf den 3. fuhr die Temperatur fort zu steigen, und das Barometer stieg und

die einander entgegenwirkenden Einflüsse verursachten, dass der Kniestoss stationär blieb; vom 3. auf den 4. sank die Temperatur sichtlich und das Barometer stieg ein wenig, und der Kniestoss begann sich zu erholen; vom 5. bis zum 7. stieg das Barometer sichtlich, und da die geringe Temperatursteigerung, welche eintrat, nicht hinreichend war, dem entgegenzuwirken, so stieg die Kniestosscurve; vom 7. auf den 8. fing die fortwährend zunehmende Temperatur an sich fühlbar zu machen, so dass der Vorgang weniger lebhaft wurde, trotz der Thatsache, dass das Barometer fortfuhr zu steigen; vom 8. bis zum 11. stieg die Temperatur und fiel das Barometer, so dass der Kniestoss sehr herabgemindert wurde; vom 11. bis zum 13. sank die Temperatur und stieg das Barometer, und beide Einflüsse dienten dazu, den Kniestoss wieder zu steigern; vom 13. auf den 14. jedoch begann das Barometer wieder zu fallen, und da die Temperatur beinahe still stand, so wurde der Kniestoss wieder herabgemindert.

Diese Curven zeigen auf's klarste, dass der Kniestoss von Veränderungen des Wetters auf's engste abhängt, doch insofern wir etwas mehr als blosse Wettermesser sind, ist die Abweichung eher qualitativ als quantitativ. Die Thatsache, dass andere Einflüsse mitwirken, zeigt sich im Verlauf der Kniestosscurve, wenn man sie im Ganzen betrachtet. So bemerkt man, dass der allgemeine Zustand der Person, von diesem Standpunkte aus betrachtet, während der zwei Wochen abnahm, und das trotz der Thatsache, dass das Barometer im Ganzen stieg; überdies scheint diese Abnahme des Kniestosses grösser zu sein, als dass das Steigen der Temperatur, welches während dieser Zeit eintrat, sie erklären könnte. Die Thatsache ist leicht zu erklären; die Arbeit, welche die Untersuchung und die Prüfung der bei den Versuchen gewonnenen Aufzeichnungen in sich schloss, war nicht gering, und die Ermüdung, welche die Person am Ende der 14 Tage fühlte, war unzweifelhaft eine Mitursache der Abnahme des Kniestosses.

Es ist keine neue Entdeckung, dass das Allgemeinbefinden des Menschen von den Veränderungen in der Witterung sehr beeinflusst wird; nichtsdestoweniger ist eine Demonstrirung der Thatsache werthvoll und kann vielleicht die von Aerzten bereits in der Praxis gemachten Beobachtungen unterstützen.

Wir müssen natürlich bedenken, dass das, was wir das Wetter nennen, noch von anderen Bedingungen ausser denen, welche das Thermometer und Barometer verzeichnen, beeinflusst wird, und dass die Windrichtung, der Grad der Feuchtigkeit der Luft und die elektrische Spannung der Atmosphaere wohl auch einen Einfluss auf den Menschen haben dürften. Es kann kein Zweifel sein, dass der Feuchtigkeitsgrad der Atmosphaere uns sehr beeinflusst, wenn wir die Ausdünstung des Schweisses von der Haut bestimmen; dass wir aber von dem elektrischen Zustand der Atmosphaere beeinflusst werden, ist durchaus nicht sicher. Man weiss so wenig über die

elektrischen Veränderungen der Luft, dass der Gegenstand stets ein anziehendes Thema für die Speculation ist, und man ist gewohnt, ihn in einer gewissen unbestimmten Weise für viele eigenthümliche Gefühle verantwortlich zu machen, die sich nicht anders erklären lassen. Die Vorstellung ist eine populäre und dringt selbst in den Roman unserer Zeit ein. So liest man z. B.: „Ich beeilte mich das zu thun, was man von mir ver„langt hatte, und zwar um so bereitwilliger als, theils aus Furcht und Ent„setzen, theils wegen der elektrischen Spannung der Nacht, ich selbst un„ruhig und zur Thätigkeit geneigt war.“[1]

Zusammenfassung der Resultate der ersten Versuchsreihe. — Die Ausdehnung des Kniestosses unterliegt fortwährenden Veränderungen. So gross sind die Abweichungen, selbst wenn die Person ruht, dass eine richtige Vorstellung von der Lebhaftigkeit des Vorganges nur dadurch gewonnen werden kann, dass man den Durchschnitt der Resultate von 20 oder mehr Versuchen zieht. Der durchschnittliche Kniestoss variirt wesentlich zu verschiedenen Tageszeiten; er ist in der Regel des Morgens bald nach dem ersten Frühstück am grössten und des Nachts viel geringer. Die Abnahme, welche mit dem Vorrücken des Tages eintritt, ist sehr unregelmässig; im Allgemeinen aber ist der Kniestoss nach jeder Mahlzeit grösser. Endlich kann dessen Ausdehnung an verschiedenen Tagen wesentlich verschieden sein.

Die Ursachen dieser Variationen des Kniestosses sind nicht allein Veränderungen in den beim Vorgange betheiligten Muskeln und Nerven, sondern in noch grösserem Maasse Veränderungen in der Thätigkeit des Central-Nervensystems, sei es als Ganzes oder theilweise. So vermindern Müdigkeit, Hunger, erschlaffendes Wetter und Schlaf, — Zustände, welche die Thätigkeit des ganzen Central-Nervensystems vermindern —, den durchschnittlichen Kniestoss; während Ruhe, Nahrung, kräftigendes Wetter und der wache Zustand, — Einflüsse, welche die Thätigkeit des Central-Nervensystems erhöhen, — den durchschnittlichen Kniestoss erhöhen. Diese Einflüsse erklären die Abweichungen des Kniestosses im Laufe des Tages, während die zahlreichen Veränderungen, welche man innerhalb kurzer Zwischenräume eintreten sieht, von vorübergehenden Veränderungen in der Thätigkeit gewisser Theile des Gehirns und Rückenmarks herrühren. So findet man, dass freiwillige Bewegungen und starke Gefühlserregungen, die gleichzeitig mit dem Schlage eintreten, die Bewegung vergrössern, und dies bemerkt man sogar während des Schlafes, wenn die Träume lebhaft sind. In ähnlicher Weise können sensorische Reizmittel, selbst wenn sie nicht stark genug sind sichtbare Reflexwirkungen hervorzubringen, doch den Kniestoss

[1] „*The Merry Men*“, von R. L. Stevenson.

sichtlich verstärken; ob aber in Folge ihrer Wirkung auf das Gehirn oder auf das Rückenmark muss durch künftige Versuche festgestellt werden. Insofern man beobachtet hat, dass die normalen Athembewegungen und ruhiges Denken den Vorgang nicht beeinflussen, scheint es wahrscheinlich, dass die Wirkung der vielen Mechanismen des Central-Nervensystems, ausgenommen wenn sie sehr stark sind, nicht von einer Entwickelung verstärkender Einflüsse begleitet ist; dies ist indessen noch lange nicht gewiss, und da der Ursprung nur weniger der feineren verstärkenden Einflüsse aufgedeckt worden ist, muss diese interessante Frage für künftige Forschung offen gelassen werden.

Im Allgemeinen also kann man sagen, dass der Kniestoss von Allem, was die Thätigkeit des Central-Nervensystems als Ganzes steigert oder vermindert, vergrössert und vermindert wird, und dass er durch vorübergehende Veränderungen in der Thätigkeit gewisser Mechanismen des Markes und Gehirns sogar noch merklicher verändert wird.

Bei den in dieser Abhandlung beschriebenen Experimenten fand man, dass die Fussbewegungen, welche von den Kniestössen verursacht wurden, die der gewöhnliche Schlag, d. h. wenn der Hammer durch einen Bogen von 40° C. fiel, hervorgebracht hatte, von 0 mm bis 130 mm variirten. Noch grössere Bewegungen würden unzweifelhaft beobachtet worden sein, wären kräftige Verstärkungen zu einer Zeit eingetreten, wo der durchschnittliche Kniestoss höher war. Die aus den Ergebnissen der 2320 Versuchen dieser Reihe gewonnene durchschnittliche Bewegung betrug 40 mm. Der schwächste Schlag, den man eine Fussbewegung hervorbringen sah, wurde erzielt, wenn man den Hammer durch einen Bogen von 20° fallen liess.

Die Resultate der zweiten Versuchsreihe. — Die Resultate der ersten Versuchsreihe waren so bemerkenswerth, dass der Verfasser glaubte, sie nicht veröffentlichen zu sollen, ohne sich ihrer Richtigkeit versichert zu haben. — Er unternahm daher eine zweite Versuchsreihe, welche, wie die erste, über zwei Wochen sich erstreckte und nur darin sich von ihr unterschied, dass statt sieben, neun Prüfungen an jedem Tage vorgenommen wurden. Von den beiden Extraprüfungen wurde die eine zwischen 11 und 12 Uhr Vormittags, die andere zwischen 4 und 5 Uhr Nachmittags vorgenommen. Diese Versuche wurden mit all der Sorgfalt angestellt, welche auf die frühere Reihe verwendet worden war; es scheint jedoch unnöthig, die Ergebnisse im Einzelnen zu veröffentlichen. Es genüge zu sagen, dass die Schlüsse, zu denen die zweite Versuchsreihe führte, diejenigen, zu denen man in der ersten gelangte, in jeder Einzelheit bestätigten. Die nämlichen ausserordentlichen Abweichungen im Umfange der in Zwischenräumen von nur einigen Secunden hervorgebrachten Kniestösse wurden

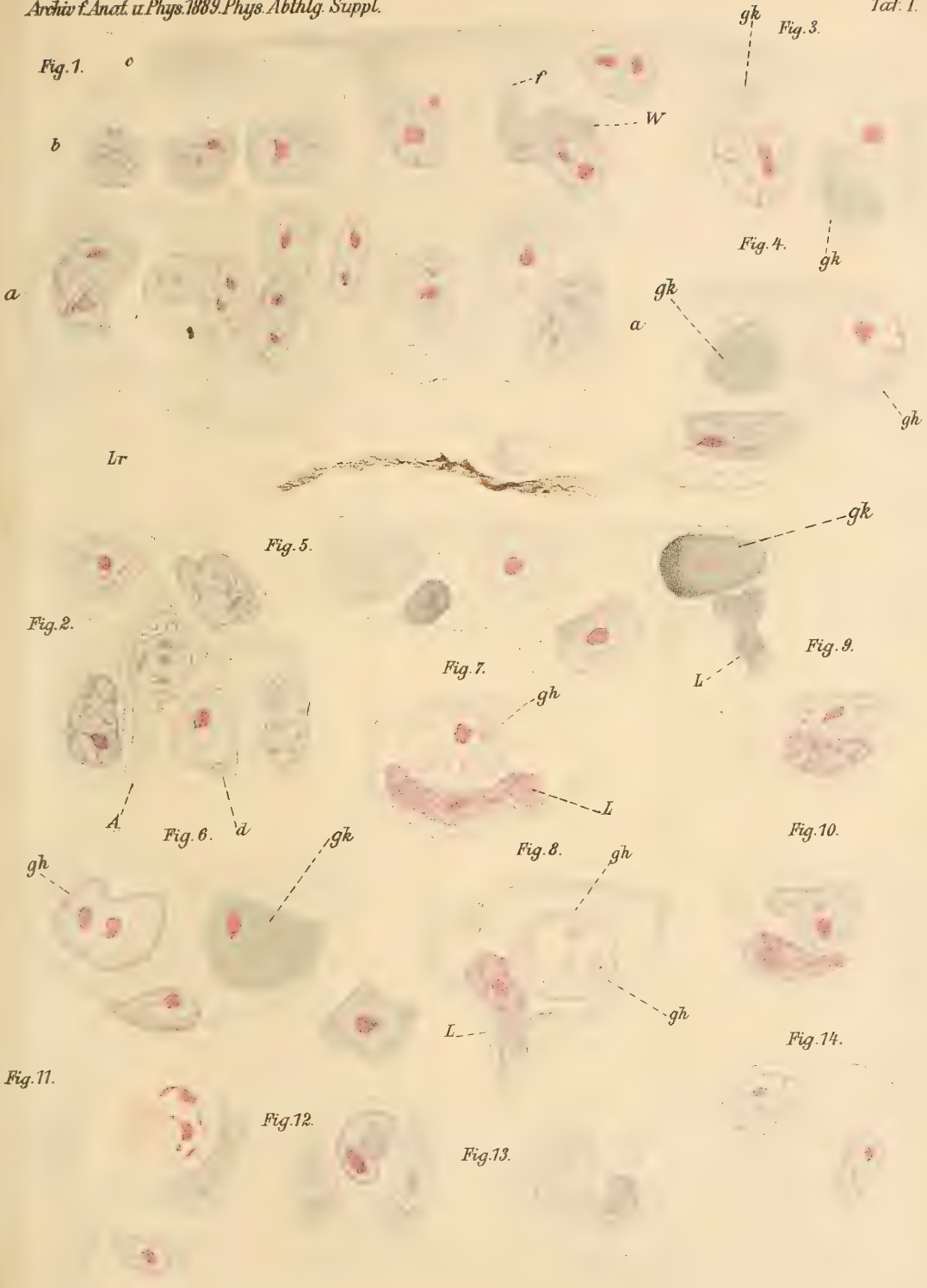
bemerkt. Man fand den durchschnittlichen Kniestoss am höchsten nach dem ersten Frühstück und niedrig des Abends und höher nach als vor jeder Mahlzeit. Die in der Mitte des Vor- und Nachmittags vorgenommenen Extra-Prüfungen zeigten überdies, dass der durchschnittliche Kniestoss allmählich im Laufe des Vor- und Nachmittags abnahm, wenn nicht ein ungewöhnlicher entgegenwirkender Einfluss sich geltend machte. Auch fand man, dass der durchschnittliche Kniestoss von Tag zu Tag sich veränderte; jedoch war der Witterungswechsel während dieses Zeitraumes so gering, dass die übrigen Einflüsse, welche das Allgemeinbefinden des Individuums bestimmen, sehr wirksam für die Höhe des durchschnittlichen Kniestosses waren. Die durchschnittliche, aus den 3156 Versuchen dieser Reihe gewonnene Bewegung betrug 33 mm. Schliesslich fand man, dass alle Verstärkungsquellen, welche während der ersten Reihe bemerkt wurden, auch während der zweiten als wirksam befunden wurden.

Zum Beweise dieser Angaben hängt der Verfasser eine Tabelle an, welche ein Resumé der in der zweiten Reihe gewonnenen Resultate giebt und nach demselben Plane angefertigt ist, wie die Tabelle auf S. 315, welche das Resumé der Resultate der ersten Reihe enthält.

Resumé der Resultate der Prüfungen der zweiten Reihe.

Mai, 1887	7—8	9—10	11—12	1—2	2—3	4—5	6—7	8—9	10—11	Durchschnittl. Kniestoss i. Mm.	Gesammtzahl der Prüfungen	Gesammtzahl der Versuche	Mittlerer Barometerstand	Mittlerer Thermometerstand
9.	36	43	64[1]	52	54	39	49	31	41	45	9	225	30·012	65°
10.	47	60	50	41	41	55	28	39	29	43	9	227	30·190	65°
11.	39	53	24	31	26	28	26	24	28	31	9	239	30·009	70°
12.	23	44	31	31	36	20	23	30	25	29	9	218	30·002	71°
13.	37	51	27	14	25	38	23	29	14	28	9	246	30·005	66°
14.	39	54	30	24	16	37	25	27	35	32	9	228	30·310	60°
15. (Sonntag)	38[1]	43	48	43	40[1]	—	18	29	37	37	8	211	30·230	66°
16.	26	46	54	24	35	37	25	35	32	35	9	229	30·080	66°
17.	29	46	43	31	46	19	30	38	24	34	9	225	29·910	68°
18.	36	37	24	33	36	33	45	39	37	35	9	227	29·850	69°
19.	33	52	33	35	25	25	26	29	37	33	9	228	30·020	72°
20.	38	33	36	25	25	33	33	25	21	30	9	228	30·020	72°
21.	36	38	37	26	23	8	14	26	7	34	9	224	30·170	72°
22. (Sonntag)	26[1]	36	20	19	29[1]	—	9	22	16	22	8	201	30·160	70°
	34	45	37	31	33	31	27	30	27	33	124	3156	30·069	68°

[1] Die Prüfung fand eine Stunde später statt.



Verlag Veit & Comp. Leipzig.

Lith. Anst. v. E. A. Funke, Leipzig.

Fig. 15.

Fig. 16.

Fig. 17.

Fig. 18.

Fig. 19.

fk

Fig. 20.

Fig. 21.

Fig. 22.

Fig. 23.

Fig. 24.

A

Fig. 25.

Fig. 26.

Fig. 27.

A

Fig. 28.

Fig. 29.

Lr

Fig. 30.

Fig. 31.

Fig. 32.

Fig. 33.

Verlag Veit & Comp. Leipzig.

Lith. Anst. v. E. A. Funke, Leipzig.

Fig. 34.

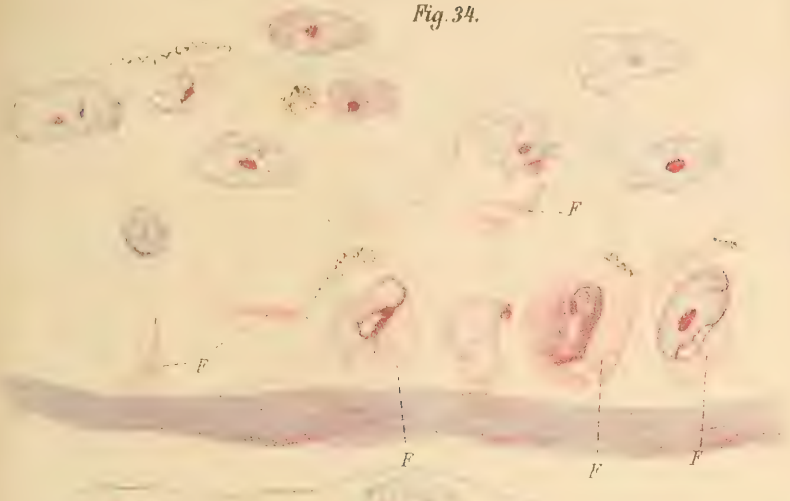


Fig. 36.

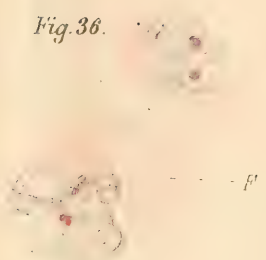


Fig. 37.

Fig. 38.

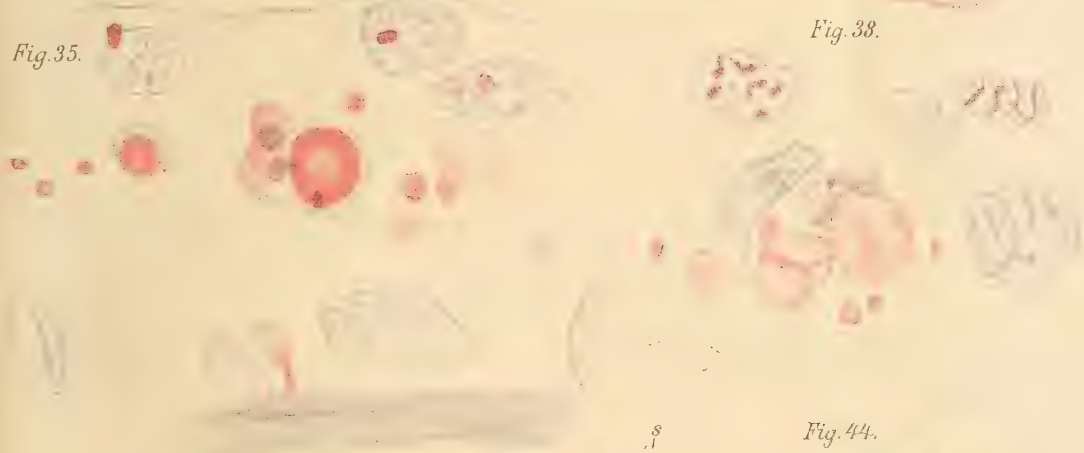


Fig. 35.

Fig. 39.

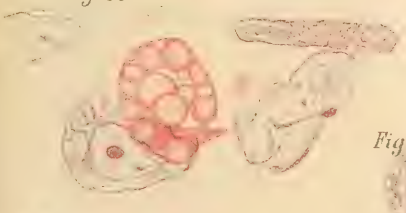


Fig. 40.

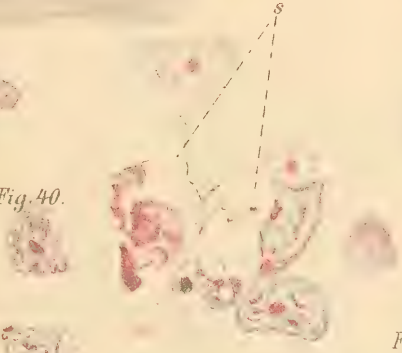


Fig. 44.

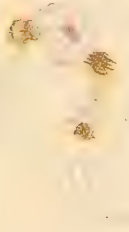


Fig. 42.

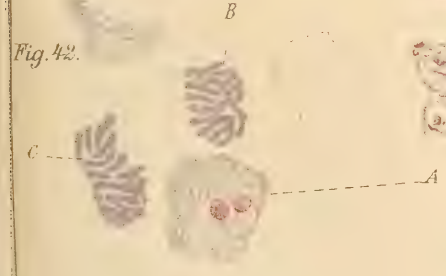


Fig. 41.

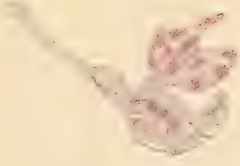


Fig. 43.

Fig. 48.

Fig. 49.

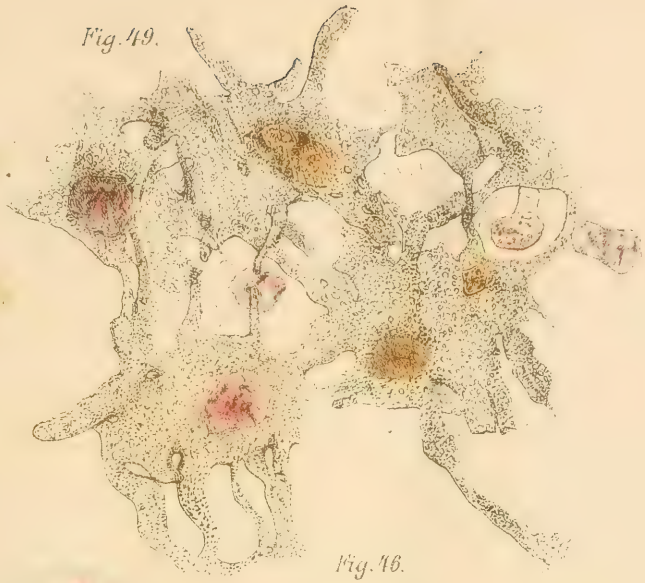


Fig. 45.

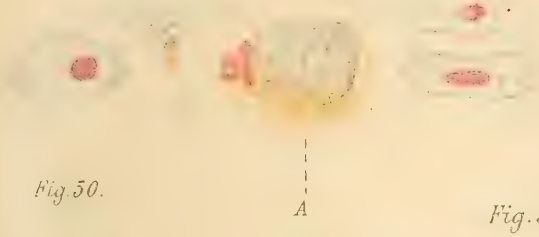


Fig. 46.

Fig. 50.

A

Fig. 51.

A_1

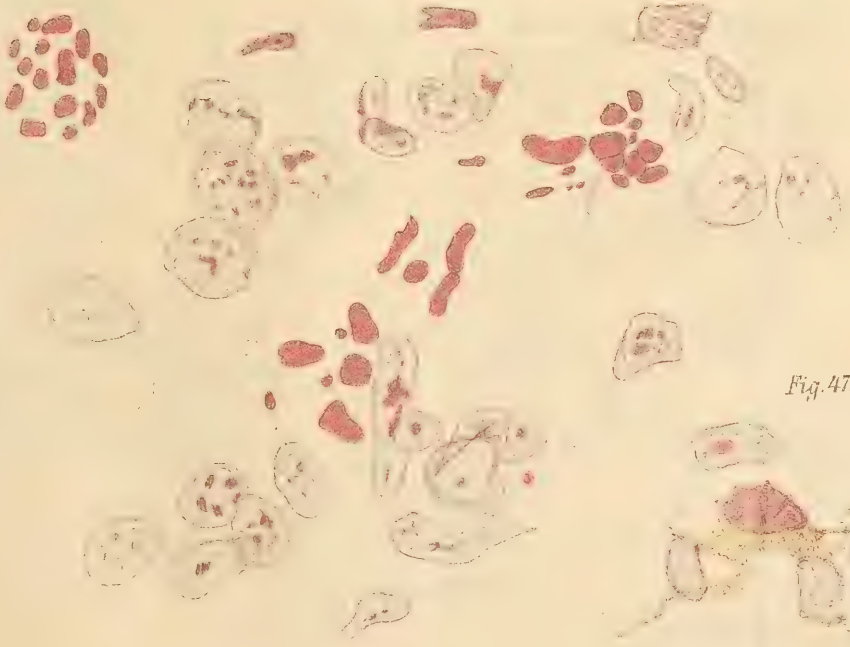
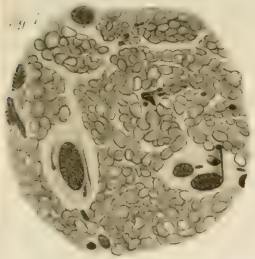
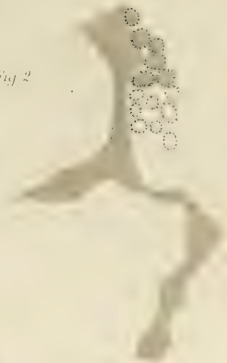
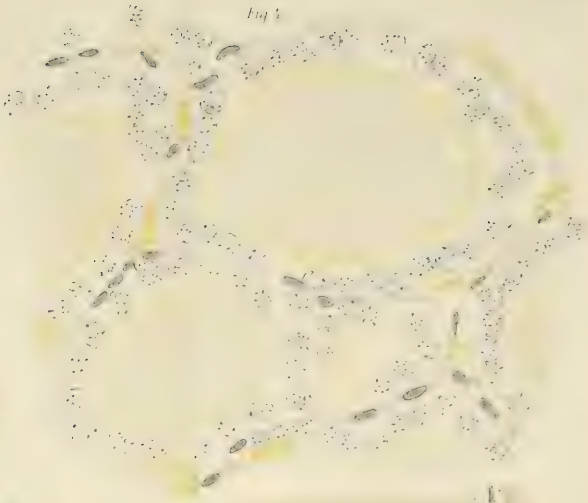


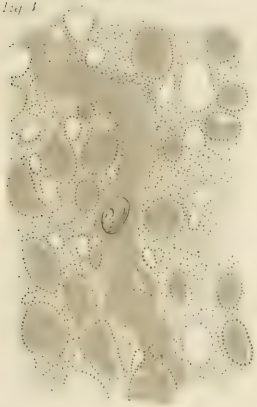
Fig. 47.

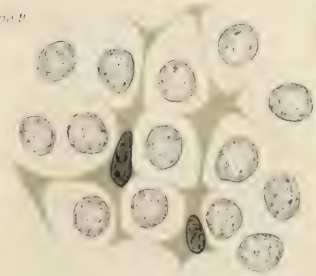
Verlag Veit & Comp. Leipzig.

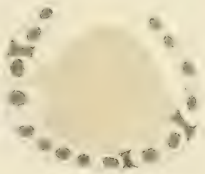












Verlag Veit & Comp. Leipzig

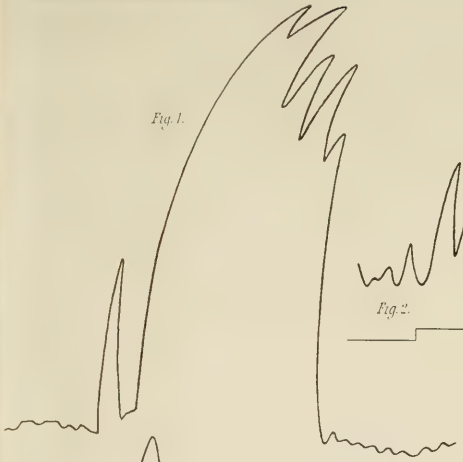


Fig. 1.

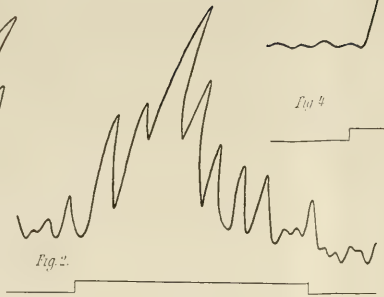


Fig. 2.

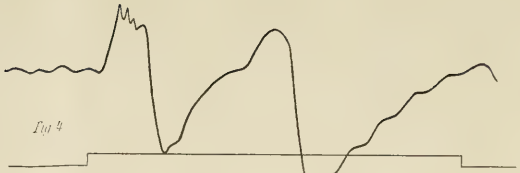


Fig. 4.

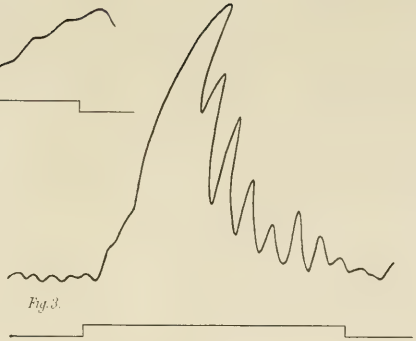


Fig. 3.

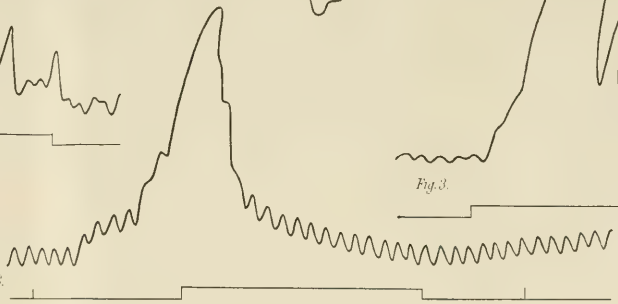


Fig. 8.

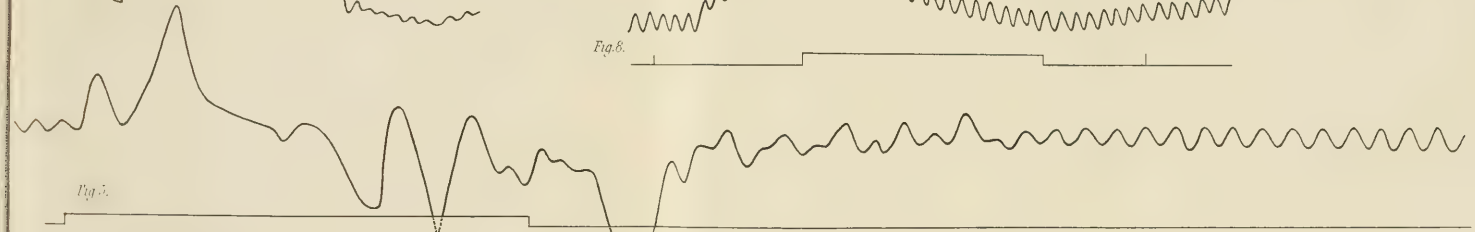


Fig. 5.

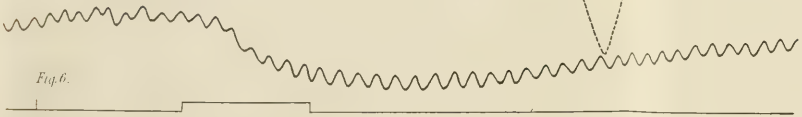


Fig. 6.

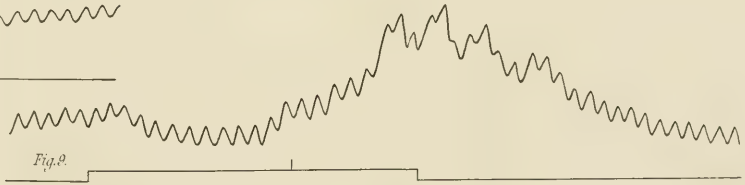


Fig. 9.

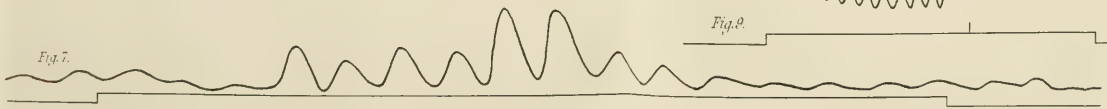
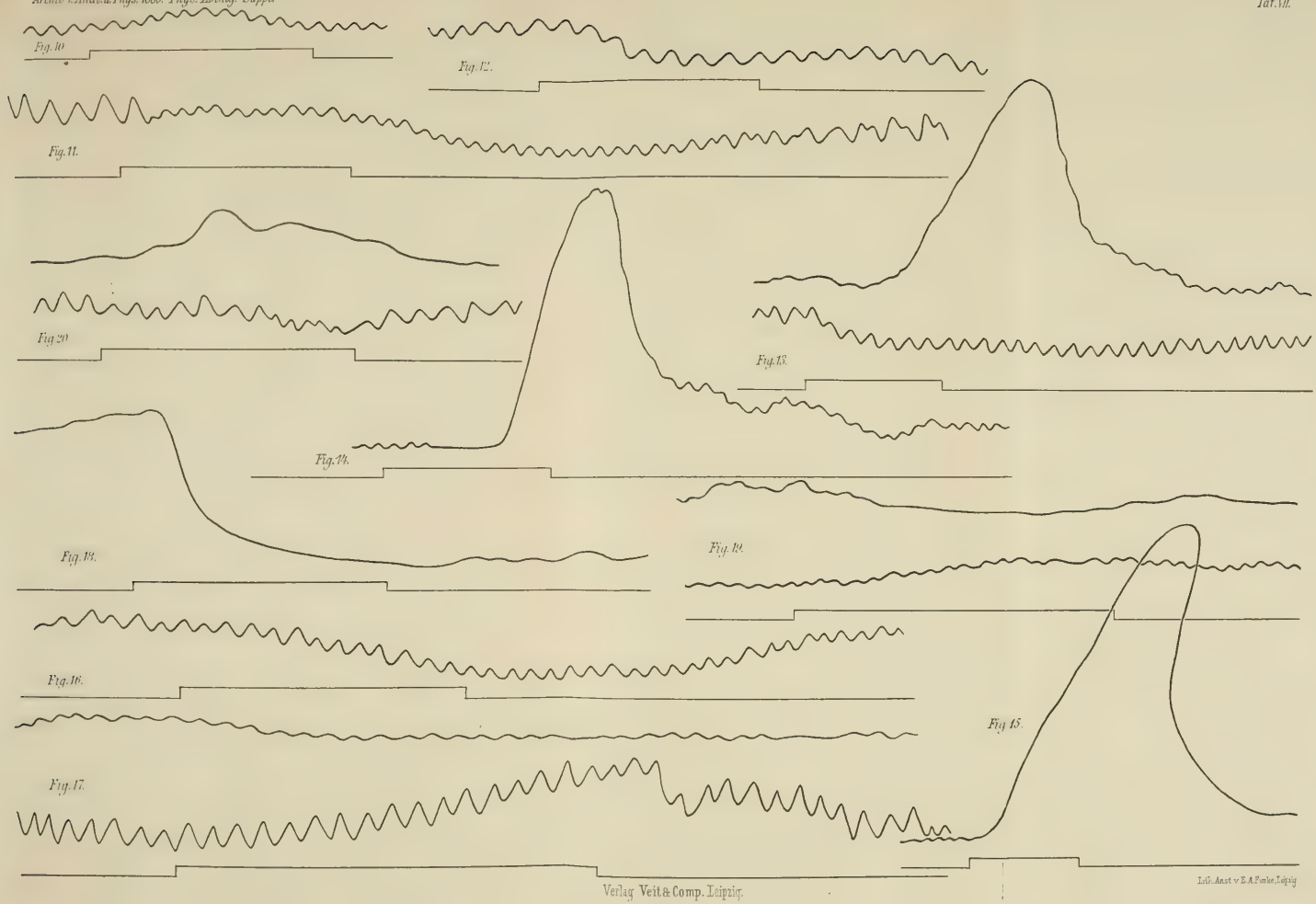


Fig. 7.

Verlag Veit & Comp. Leipzig



Verlag Veit & Comp. Leipzig.

Lith. Anst. v. E. A. Funke, Leipzig

Fig. 5

Fig. 6

Fig. 1.

Fig. 2.

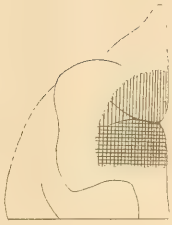


Fig. 7.

Fig. 3.

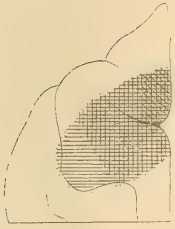


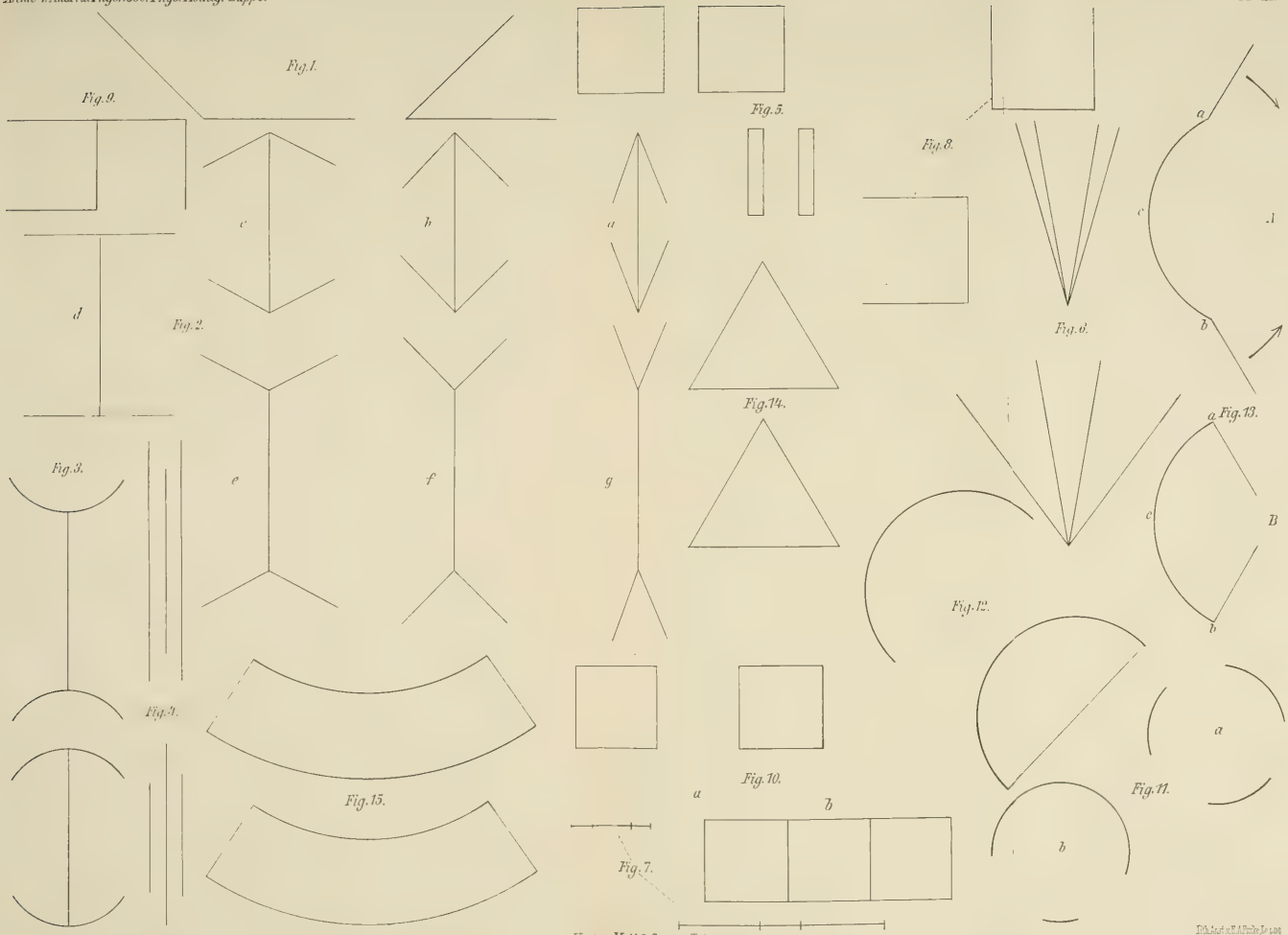
Fig. 4.

Fig. 9.

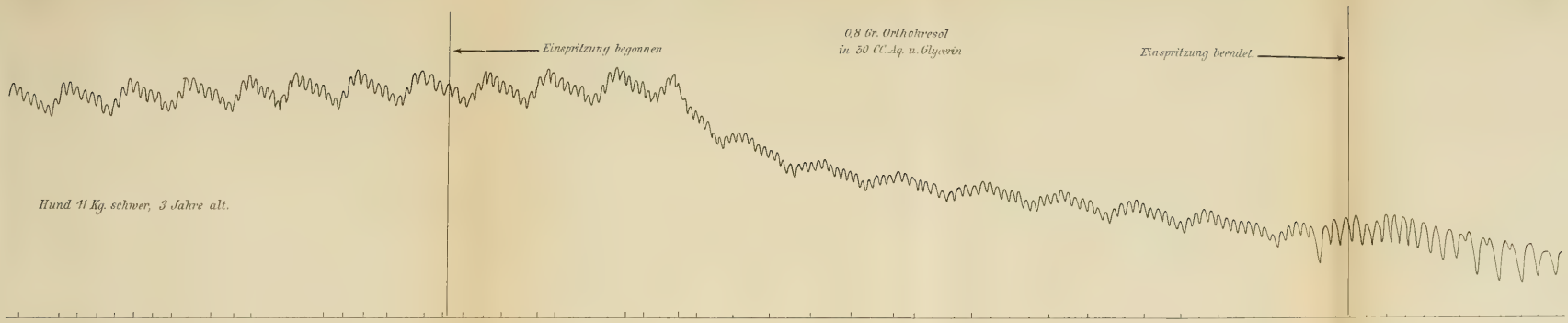
Fig. 8.

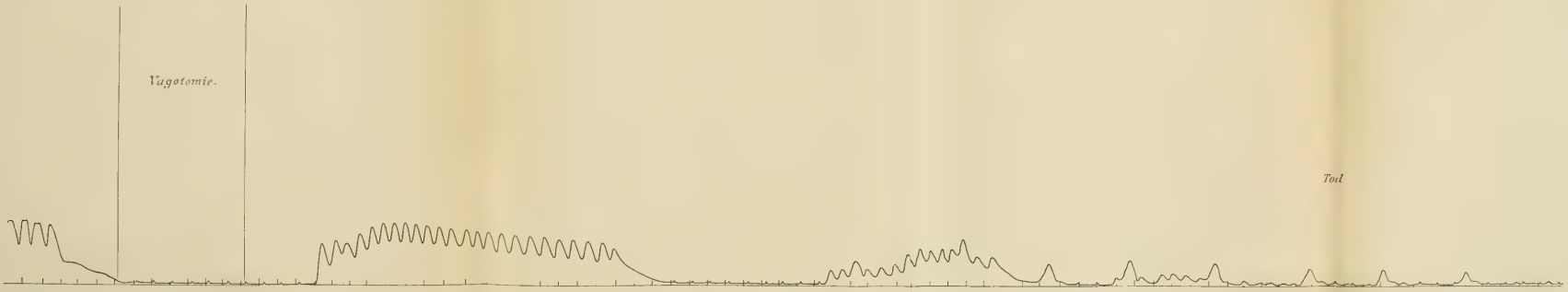
Verlag Veit & Comp. Leipzig.

Lith. Anst. v. E. A. Funke, Leipzig.



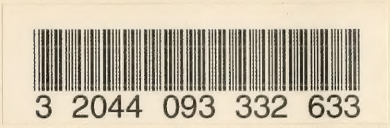
Verlag Veit & Comp. Leipzig.





Verlag Veit & Comp. Leipzig.

Acme
Bookbinding Co., Inc.
300 Summer Street
Boston, Mass. 02210


3 2044 093 332 633